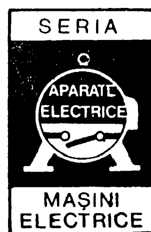
B. Máthé D. Cîrstea
E. Feldman O. Rarinca

încercarea aparatelor electrice


SERIA
APARATE
ELECTRICE
MAȘINI
ELECTRICE

Dr. ing. Balázs Máthé
Ing. Eliza Feldman
Ing. Dumitru Cîrstea
Ing. Ovidiu Rarinca

Incercarea aparatelor electrice



Editura tehnică
București — 1976

Lucrarea prezintă în mod unitar încercările finale de stand și încercările profilactice de exploatare la care sînt supuse de regulă toate aparatele electrice de înaltă și joasă tensiune, care funcționează în rețelele de curent alternativ. În primele trei capitole sînt prezentate solicitările la care sînt supuse aparatele electrice în exploatare, condițiile tehnice și metodele de încercare impuse de standarde, precum și încercările cu caracter general, comune pentru toate aparatele electrice. În capitolele ce urmează sînt prezentate detaliat încercările specifice pentru fiecare categorie de aparate. Alături de aparatele propriu-zise, lucrarea cuprinde și celule prefabricate, precum și tablourile de distribuție capsulate. Ca o completare utilă s-au prevăzut și o serie de anexe, care cuprind standardele în vigoare și publicațiile CEI care se referă la aparatajul electric de înaltă și joasă tensiune și la încercările lor.

Lucrarea se adresează inginerilor electrotehnicieni care lucrează la standurile de încercări finale și în laboratoarele de încercări de tip și de control ale întreprinderilor producătoare de aparataj electric de înaltă sau joasă tensiune, precum și celor ce lucrează în atelierele specializate în revizia și repararea aparatajului electric de înaltă sau joasă tensiune ale întreprinderilor de exploatare. Totodată ea este utilă și inginerilor electroenergeticieni care se ocupă cu întreținerea stațiilor de înaltă și de joasă tensiune din întreprinderile de electricitate și industriale, precum și studenților care se specializează în domeniul aparatajului electric.

Recenzie: Ing. AUREL POPA
Conf. dr. ing. PAUL CRISTEA
Control științific: Dr. ing. ION MARINESCU
Redactor: Ing. PAULINA DUMITRESCU
Tehnoredactor: ELLY GORUN
Coperta: SIMONA NICULESCU

Bun de tipar: 12.08.1976. Coli de tipar: 28,25. Tiraj: 3300 + 70 exemplare legate. C.Z. 621.314: 621.316.001.4



Tiparul executat sub comanda nr. 346 la
Întreprinderea Poligrafică „13 Decembrie 1918"
str. Grigore Alexandrescu nr. 89—97
București,
Republica Socialistă România

Prefață

Producerea, transportul, distribuția și utilizarea energiei electrice se realizează cu ajutorul unui sortiment bogat de aparate electrice de înaltă și de joasă tensiune. Astăzi, acestea sînt răspîndite atît în instalațiile sistemului energetic cît și în cele ale întreprinderilor din toate ramurile industriale, din transporturi, din agricultură etc., adică din toate domeniile de activitate. Dezvoltarea intensivă a ramurilor economiei naționale în perioada cincinalului revoluției tehnico-științifice (1976—1980) va duce la înzestrarea accentuată a instalațiilor electrice din țara noastră cu aparate electrice de fabricație românească. De funcționarea corectă a acestor aparate va depinde în cea mai mare măsură siguranța în funcționare a instalațiilor, continuitatea furnizării energiei electrice și productivitatea muncii. Din aceste motive, în perioada care urmează, se pune, mai acut ca oricînd, problema verificării calității și fiabilității aparatelor electrice în fabricile constructoare și în condițiile exploatării.

Dacă implicațiile nefuncționării corecte (întreruperea alimentării cu energie electrică, pagube materiale, victime omenești) a aparatelor de joasă tensiune sînt determinate de răspîndirea largă a acestora (ținînd seama că circa 70% din totalul energiei electrice produse este distribuită și utilizată în joasă tensiune), influența aparatelor de înaltă tensiune asupra fiabilității sistemului energetic este mult mai mare, dată fiind importanța instalațiilor pe care acestea le deservesc.

Pe plan mondial există puține cărți, iar în limba română lipsește complet o carte care să sintetizeze metodele de încercare a aparatelor electrice, despre care

au fost publicate în schimb foarte multe articole, au fost elaborate numeroase standarde naționale, recomandări internaționale, norme interne departamentale sau prescripții de exploatare.

Din aceste motive, autorii și-au propus ca — într-o formă accesibilă unui cerc larg de tehnicieni și ingineri din fabrici (personalul laboratoarelor și standurilor de probă etc.), din exploatare (personalul de întreținere, PRAM etc.), și din învățămîntul tehnic de specialitate — să expună, în cartea de față, principalele metode de încercare utilizate pentru verificarea calității și a fiabilității aparatelor electrice de bază din stațiile de distribuție de înaltă și de joasă tensiune.

Cartea este divizată în patru părți componente.

Prima parte se ocupă de solicitările caracteristice, fenomenele fizice de deteriorare și de condițiile generale impuse principalelor subansamble ale aparatelor electrice.

În cea de-a doua parte a cărții sînt expuse acele metode de încercări care sînt parctic comune pentru toate tipurile de aparate electrice ale stațiilor de distribuție de înaltă și de joasă tensiune..

Cea de-a treia parte este consacrată metodelor de încercare specifice aparatelor de înaltă tensiune, iar în partea a patra sînt tratate aceleași metode folosite pentru aparatele electrice de joasă tensiune.

Contribuția autorilor la elaborarea cărții a fost următoarea:

— dr. ing. B. Máthé — părțile I și II; subcap. 8, 11; cap. 9, 11, 12, 13 și coordonarea generală;

— ing. D. Cîrstea și ing. O. Rarinca — cap. 8 și 10;

— ing. E. Feldman — cap. 14, 15, 16, 17 și 18.

Pe această cale, autorii își exprimă mulțumirile lor colaboratorilor care i-au ajutat la strîngerea informațiilor necesare, precum și conducerii ICEMENERG-București, I.C.P. Electroputere-Craiova și Electroaparataj-București, care au creat condiții prielnice pentru abordarea cu atenție deosebită a problemei calității și fiabilității echipamentului electric.

AUTORII

CUPRINS

II Încercări comune ale aparatelor electrice

IV Încercări specifice ale aparatelor de joasă tensiune

Introducere

Calitatea aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune este determinată de un spectru larg de proprietăți tehnice, economice și ergonomice importante. Fiecare aparat electric este definit printr-un set de astfel de caracteristici trecute fie în standard (STAS), fie în norma internă departamentală (NID), fie în condițiile tehnice (CT) sau în caietul de sarcini (CS) al produsului.

Ținînd cont de complexitatea noțiunii de calitate, *verificarea calității aparatelor electrice de înaltă și joasă tensiune* devine o problemă deosebit de dificilă, complicată de diversitatea extremă a acestor produse, de natura fizică diferită a fenomenelor de abordat [1 ... 10] și de bazele experimentale (laboratoare de mare putere, de înaltă tensiune și de curenți mari) costisitoare [11 ... 20] necesare atestării performanțelor. În plus față de aceasta, se mai adaugă și faptul că verificarea calității trebuie să însoțească toată viața aparatelor, începînd cu etapa de cercetare-dezvoltare (de exemplu: prin încercări de prototip și de serie zero), continuînd cu fabricația curentă (de exemplu prin încercări individuale, de lot, de recepție) și terminînd cu exploatarea acestora (de exemplu: prin probe de punere în funcțiune și încercări profilactice).

În *întreprinderea constructoare* la verificarea calității aparatelor se pot scoate în evidență următoarele neajunsuri:

a) erori de concepție (de proiectare) sau neconcordanța dintre construcția realizată și documentația de proiectare;

b) scăpări ale instrucțiunilor de fabricație sau nerespectarea întocmai a procedeelor tehnologice prescrise;

c) utilizarea în construcția aparatelor a unor materiale neidentificate complet prin cercetări experimentale prealabile sau folosirea în fabricație a altor materiale disponibile la un moment dat, care „par“ să fie echivalente cu cele impuse de proiectant.

Calitatea aparatelor este pe larg şi periodic investigată şi în *condiţiile exploatării*, unde în cadrul verificărilor de punere în funcţiune, a încercărilor profilactice sau a probelor de atestare a calităţii reparaţiilor se semnalează cu caracter preventiv, sau „ad-hoc", neajunsurile suplimentare faţă de cele menţionate mai sus şi anume:

d) nerespectarea regulilor de transport, de conservare (depozitarea şi păstrarea îndelungată în depozite) şi de deconservare a aparatelor sau carenţe în aceste reguli;

e) efectuarea unor operaţii de montare şi de punere în funcţiune necorespunzătoare sau imperfecţiuni ale instrucţiunilor respective de montaj şi de punere în funcţiune;

f) executarea unor lucrări de exploatare (de deservire, de întreţinere, de încercări profilactice) nu la nivelul exigenţelor actuale sau folosirea unor instrucţiuni sumare de exploatare sau a unor reglementări nesatisfăcătoare;

g) realizarea unor reparaţii de calitate necorespunzătoare sau absenţa unor norme ferme şi a unor instalaţii potrivite pentru atestarea calităţii acestor lucrări, care se execută în sistemul electroenergetic sau în instalaţiile utilizatorilor de energie electrică, precum şi în ateliere speciale dependente de acestea (ateliere cu o înzestrare tehnologică redusă).

Calitatea produselor poate să fie verificată şi asigurată în principiu, punînd un accent deosebit pe calcul şi pe experienţă.

Trebuie menţionat că la asigurarea calităţii aparatelor electrice de înaltă şi de joasă tensiune calculul are un rol important, care însă trebuie completat în mod necesar cu experienţa (încercarea şi cercetarea experimentală). Din acest motiv, ţările cu industrie electrotehnică şi energetică dezvoltată investesc miliarde de lei (echivalenţi) în bazele lor experimentale de încercare şi angrenează în munca de cercetare experimentală a metodelor, schemelor şi instalaţiilor de încercare a aparatelor electrice, un număr mare de cadre de specialitate. La întreprinderea constructoare aceste cadre sînt angrenate în *controlul materialelor* (încercări de recepţie) şi al *operaţiilor tehnologice* (probe intermediare sau interfaze) efectuate pe elementele şi subansamblurile componente ale construcţiei aparatului, în *încercări finale* executate pe aparatul complet montat (încercări individuale şi de lot), în *cercetarea* şi *dezvoltarea experimentală* (probe de casă, încercări speciale) a produselor. Încercările de mai sus interesează în primul rînd pe constructorul de aparate care are drept discreţional asupra rezultatelor obţinute.

Încercările care interesează deopotrivă, atît constructorul cît şi beneficiarul aparatelor sînt: *încercările de recepţie* (care pot să coincidă cu încercările finale menţionate mai sus); *încercările de tip* (de omologare a prototipului sau a seriei zero); *încercările de furnitură* sau de control al fabricaţiei, efectuat de beneficiar.

Avînd în vedere interesele diferite ale constructorului şi beneficiarului, cea de a doua categorie de încercări se execută conform prevederilor standardelor, normelor interne sau condiţiilor tehnice anexate la contract, iar documentul de atestare a performanţelor se eliberează de un for recunoscut

de ambii parteneri (de exemplu un for neutru). Uneori aparatul astfel omologat şi documentaţia lui tehnică completă se depozitează ca „martor", pentru controlul periodic al fabricaţiei şi al materialelor utilizate, pentru confruntarea lui cu aparatele din fabricaţia curentă.

Ultima categorie de probe interesează în primul rînd pe beneficiar şi constă în *încercări de punere în funcţiune*, în *încercări profilactice*, în *încercări de atestare a calităţii reparaţiilor* şi de *modernizare a aparatelor* care se execută, eventual, în prezenţa constructorului.

Autorii au încercat să dea o imagine pe cît posibil mai completă privind tehnicile folosite în cadrul celor trei categorii de încercări ale aparatelor electrice din staţiile de distribuţie şi de conexiune de înaltă şi de joasă tensiune, punînd un accent deosebit pe încercările care se executate în exploatare, care se află într-un proces intens de diversificare şi de aprofundare în prezent.

I

Solicitările principale şi condiţiile tehnice generale impuse aparatelor electrice

1. Solicitările şi fenomenele fizice de deteriorare ale aparatelor electrice în exploatare

Aparatele electrice utilizate în reţelele de înaltă şi de joasă tensiune pentru transportul şi distribuţia energiei electrice sînt constituite din următoarele componente (subansambluri) principale [1]:

— izolaţia (faţă de masă, între faze şi între polii aceleiaşi faze):
— căile de curent (principale şi secundare sau auxiliare);
— circuitul magnetic (mecanisme şi/sau dispozitive electromagnetice);
— mecanisme de acţionare (de închidere, de deschidere, de zăvorîre etc.);
— dispozitive de stingere sau de suprimare a arcului electric (camera de stingere);
— construcţia metalică şi/sau anvelopa aparatului.

În cele ce urmează, se dă o caracterizare succintă a solicitărilor principale la care sînt supuse subansamblurile menţionate mai sus, întocmite pe baza statisticilor de avarie [21 ... 27] şi /sau pe baza unor cercetări speciale [28 ... 41]. O caracterizare completă şi riguroasă a tuturor solicitărilor nu este posibilă datorită diversităţii lor, precum şi datorită ponderii lor diferite în cazurile concrete supuse examinării.

1.1. Solicitările şi fenomenul fizic de deteriorare ale izolaţiei

În condiţiile exploatării, izolaţia aparatelor electrice — în special a celor de înaltă tensiune — este supusă la solicitări variate datorită acţiunii separate sau suprapuse (combinate) ale cîmpurilor electrice, magnetice, termice şi de forţă. Aceste solicitări acţionează — direct sau indirect — în sensul degradării (îmbătrînirii izolaţiei) sau chiar deteriorării (distrugerii prin conturnări şi străpungeri) izolaţiei.

Acțiunile așa-numiților *factori interni*, care sînt condiționate de „reacția" aparatelor la „acțiunea" sistemului energetic sau a instalației electrice din care face parte, în general, pot să aibă un caracter permanent (ca de exemplu, acțiunea tensiunii de serviciu) sau accidental (ca de exemplu, acțiunea supratensiunilor).

În afară de solicitările datorită unor factori interni, izolația aparatelor electrice este solicitată și de o serie de *factori externi* care nu depind de interacțiunea dintre aparatul electric și sistem (instalație), aceștia pot fi solicitările determinate de caracteristicile climei și ale mediului ambiant (ca de exemplu, temperatura, umiditatea, precipitațiile, radiațiile solare, vîntul, poluarea aerului, vibrațiile, microorganismele etc.).

La acțiunea factorilor externi este supusă nu numai izolația externă. Astfel, de exemplu, umezeala aerului modifică valorile tensiunilor de conturnare sau de străpungere a izolației externe, dar pătrunzînd în interiorul cuvei sau anvelopei degradează și izolația internă a aparatului (ca de exemplu, la transformatoare de tensiune tip TEMU-110).

Atît izolația internă, cît și izolația externă a aparatului sînt solicitate de diferiți agenți chimici, care pot să aibă, deopotrivă, proveniență internă (acțiunea produselor de descompunere a uleiului sau a hîrtiei asupra izolației) sau externă (acțiunea aerului poluat cu diferiți agenți chimici), devenind în felul acesta *factori generali* de deteriorare și de degradare a izolației.

Un alt factor general, care trebuie să fie luat în considerație în mod obligatoriu la examinarea comportării în exploatare a unui aparat electric, este factorul timp sau vîrsta aparatului, reflectată prin modificări structurale, prin oboseală și gradul de eroziune sau de descompunere a materialelor izolante și prin alterarea în timp a proprietăților electrice inițiale.

1.1.1. Solicitarea electrică. Fenomenele și mărimile fizice caracteristice din dielectric

1.1.1.1. Solicitări electrice

Izolația internă și externă a aparatelor electrice în condițiile exploatării este supusă în primul rînd la *solicitări electrice*, caracterizate prin următoarele mărimi:

— tensiunea de serviciu, care reprezintă o solicitare de lungă durată; valoarea sa cea mai mare este egală cu tensiunea maximă de serviciu a rețelei;

— supratensiunea temporară, care reprezintă o solicitare de durată limitată, de frecvență joasă; mărimea acesteia depinde de structura și de regimul de funcționare a instalației electrice în ansamblu;

— supratensiunea de comutație, care reprezintă o solicitare de scurtă durată, sub forma unor oscilații amortizate; mărimea acesteia este determinată în primul rînd de caracteristicile aparatelor de comutație și în al doilea rînd de parametrii fizici ai rețelei în care se produce comutarea;

— supratensiunea de origină atmosferică, legată de fenomenul descărcărilor electrice din natură, care reprezintă o solicitare de foarte scurtă durată, dar de amplitudine mare, sub forma unor impulsuri avînd frunte abruptă de creștere și spate mai puțin abrupt, cu sau fără oscilații suprapuse.

Formele tipice ale supratensiunilor care apar în exploatare și cele simulate în condiții de laborator sînt date în fig. 1.1.

Tensiunea maximă de serviciu a rețelei reprezintă o solicitare aspră pentru izolația aparatului prin efectul ionizărilor, descărcărilor parțiale, fe-

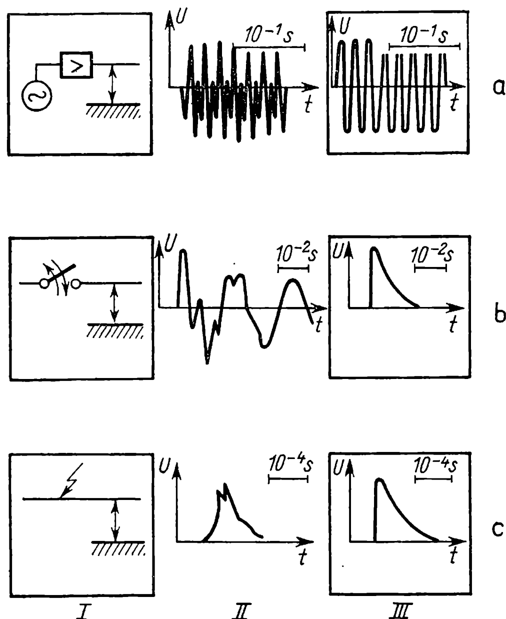


Fig. 1.1. Forma tipică a supratensiunilor:

a — temporare; *b* — de comutație; *c* — de origine atmosferică; schemele convenționale *(I)* și tensiunile care apar în condiții de exploatare *(II)* și de laborator *(III)*.

nomenului corona sau a efluviilor, care (dacă sînt declanșate la aceste tensiuni) pot să erodeze sau să degradeze în timp relativ scurt materialele izolante componente, ducînd progresiv la avarierea aparatelor. Din acest motiv, nivelul descărcărilor amintite la tensiunea nominală a aparatelor electrice de înaltă tensiune ar trebui să fie redus la minimum posibil sau să lipsească cu desăvîrșire (construcții de aparate „corona-arm“ și „corona-frei“)

Supratensiunile temporare, care includ (conform noilor concepții ale CEI) în afara creșterilor de tensiune și supratensiunile de rezonanță și ferorezonanță, pot atinge valori periculoase pentru izolația aparatelor electrice de înaltă tensiune: în cazul descărcărilor automate a sarcinii (DAS); la conectarea liniilor în gol din partea înfășurării de joasă tensiune a transformatoarelor; cu ocazia punerilor la pămînt a unei faze a rețelelor de înaltă tensiune cu neutrul pus efectiv la pămînt, dar mai ales a rețelelor cu neutrul izolat; în condițiile unor fenomene de rezonanță parametrică sau armonică în sistem, la ieșirea din sincronism sau în perioada procesului de sincronizare a unei porțiuni din sistemul electroenergetic interconectat etc., analizate mai detaliat în [1].

Transformatoarele de putere, de distribuţie şi de tensiune joacă un rol deosebit de important (prin caracteristicile lor volt-amper neliniare) în determinarea mărimii acestor genuri de supratensiuni. În [1] sînt date recomandări utile în vederea limitării acestor supratensiuni temporare la valori convenabile pentru exploatare, luînd astfel de măsuri ca: alegerea configuraţiei corespunzătoare a părţii de reţea rămase în funcţiune, practicarea unui program adecvat de comutări în sistem, coordonarea raţională a schemelor PRAM (RAE, RAR, DAS) etc..

Supratensiunile de comutaţie, care însoţesc variaţiile rapide ale stării reţelei, sînt determinate de: felul aparatului de comutaţie, genul operaţiei de comutare (conectare, deconectare, cicluri diferite etc.), regimul de comutare (comutarea în regim de scurtcircuit la borne sau pe linie, comutarea cu linie în gol etc.), configuraţia şi parametrii fizici ai reţelei etc.

Supratensiunile de comutaţie reprezintă o solicitare de importanţă majoră pentru izolaţia aparatelor electrice de tensiuni foarte ridicate (avînd tensiuni nominale peste 245 kV) i ultraînalte (avînd tensiuni nominale peste 1000 kV).

De altfel, în reţelele moderne de medie şi de înaltă tensiune, supratensiunile de comutaţie se limitează la valori tolerabile pentru exploatare prin: folosirea unor întreruptoare cu rezistenţe de şuntare înseriate în circuit în mai multe trepte, tratarea neutrului cu rezistoare, utilizarea unor descărcătoare speciale, întrebuinţarea unor transformatoare de tensiune inductive în locul celor capacitive şi a bobinelor de şuntare (de compensare) cu dozarea corespunzătoare a pierderilor în fier şi în cupru, racordarea pe barele staţiei (postului) de transformare a unor condensatoare etc.

Schemele principale în care apar supratensiunile de comutaţie cele mai periculoase într-un sistem electroenergetic sînt redate în fig. 1.2.

Supratensiunilor de origine atmosferică reprezintă o solicitare periculoasă atît pentru izolaţia principală (transversală) cît şi pentru izolaţia longitudinală a aparatelor. Astfel, de exemplu, izolaţia principală a bornelor şi capetelor de înfăşurare a unui transformator de tensiune, pentru tensiuni medii, este deosebit de aspru solicitată în cazul unei unde incidente dinspre linia electrică aeriană, în special dacă tensiunile propagate în cele trei faze au aceeaşi mărime şi fază.

De asemenea trebuie amintit, că datorită repartiţiei neuniforme a tensiunii de impuls de-a lungul înfăşurării, izolaţia longitudinală a acestor transformatoare, în special izolaţia dintre spire şi straturi, este solicitată cu tensiuni mult mai mari (cu cîteva ordine de mărime) faţă de regimul normal de funcţionare, atît din cauza reacţiei transformatorului la unda de impuls incidentă, cît şi din cauza aşa-numitului *fenomen de tăiere la neutru.*

Cele patru solicitări electrice ale izolaţiei aparatelor duc la degradarea succesivă sau deteriorarea acesteia, în locul cel mai slab, aşa cum se poate vedea în fig. 1.3, prin:

— ionizări, scînteieri, fenomenul corona, efluvii, adică descărcări nedisruptive (*1*);

— conturnare *(2)* sau

— străpungere *(3).*

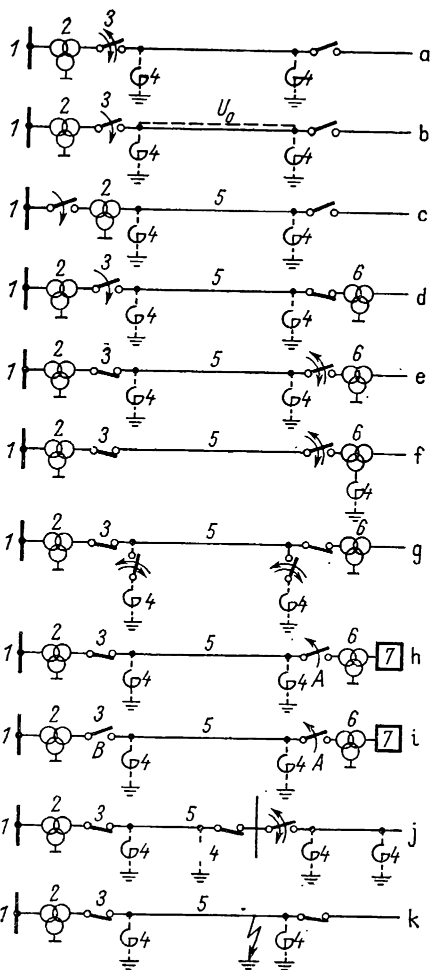


Fig. 1.2. Schemele principale în care apar supratensiunile de comutație cele mai periculoase în sistemul electroenergetic:

a — comutarea (conectarea, deconectarea) unei linii în gol; *b* — RAR a unei linii în gol; *c* — conectarea liniei de înaltă tensiune în gol din partea înfășurării de joasă tensiune a transformatorului: *d* — conectarea unei linii, în gol, la capătul căreia este racordat un transformator; *e* — comutarea (conectarea sau deconectarea) unui transformator în gol; *f* — comutarea (conectarea, deconectarea) unui transformator cu sarcină inductivă; *g* — comutarea (conectarea, deconectarea) circuitelor inductive; *h* — descărcarea voită sau automată [DAS] a sarcinii la capătul unei linii lungi; *i* — DAS la capătul unei linii lungi urmată de deconectarea alimentării (punctul B); *j* — comutări efectuate în stații de interconexiune; *k* — punere la pămînt monofazată (fără executarea vreunei manevre);
1 — bare; *2* — transformator (autotransformator) ridicător (cu trei înfășurări); *3* — întreruptor; *4* — bobină de șuntare (compensare); 5 — linie electrică; *6* — transformator de coborîre; *7* — sarcină (receptor).

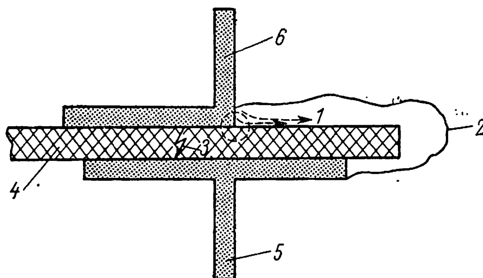


Fig. 1.3. Fenomenele fizice care duc la degradarea accelerată prin descărcări nedisruptive (*1*) sau la deteriorarea instantanee prin conturnare (*2*) sau străpungere (*3*) a izolației aparatelor electrice (*4*) dintre doi electrozi (*5* și *6*) aflați la potențiale diferite.

Formele de manifestare ale degradării sau deteriorării izolației sînt sintetizate în tabelul 1.1

Descărcările nedisruptive, conturnarea și străpungerea izolației aparatelor electrice sînt precedate și condiționate de cîteva fenomene fizice de bază, care iau naștere în materialele dielectrice componente datorită cîmpului electric creat de cele patru solicitări enumerate. Aceste fenomene fizice, care definesc starea izolației la un moment dat, sînt:

— fenomenul de polarizare și de depolarizare;

— fenomenul de conducție și de absorbție;

Tabelul 1.1

Simptomele principale prin care se determină gradul de deteriorare sau de degradare a izolației echipamentului electric

Forma de manifestare (simptomul) a degradării	Domeniul specific de apariție
Micșorarea rigidității dielectrice (reducerea tensiunii de străpungere)	Transformatoare de măsură, transformatoare de putere uscate, materiale izolante de clasa B, structuri izolante aflate în atmosferă de gaz lipsită de oxigen
Apariția descărcărilor nedisruptive la tensiuni mai mici, coborîrea pragului de ionizare, intensificarea descărcărilor parțiale	Transformatoare de putere și de distribuție, motoare de putere mai mică, transformatoare de măsură turnate în rășini sintetice, cabluri, condensatoare etc.
Înrăutățirea caracteristicilor mecanice	Materiale izolante clasa A, mase plastice, materiale stratificate etc.
Apariția fisurilor, crăpăturilor în izolație	Pelicule de lac de acoperire sau de impregnare, aparate turnate în rășini termorigide
Micșorarea rezistenței de izolație	Turbogeneratoare, mașini electrice de puteri mari, cabluri etc.
Creșterea pierderilor dielectrice	Transformatoare de putere și măsură, mașini electrice mari, cabluri, aparate electrice cu izolație organică
Creșterea capacității	Transformatoare, aparate electrice, mașini electrice
Schimbarea stării de agregare	Materiale sintetice, materiale izolante lichide
Modificarea greutății (masei)	Materiale izolante organice
Modificarea compoziției chimice	Materiale izolante lichide

— fenomenul pierderilor dielectrice;
— fenomenul străpungerii dielectricilor.

1.1.1.2. Fenomenele și mărimile fizice de bază din dielectric

● Materialele electroizolante introduse în cîmp electric își modifică starea lor electrică: particulele purtătoare de sarcină se orientează (evident în limita posibilităților date de structura materialului respectiv) în direcția impusă de intensitatea cîmpului electric E. Prin acest fenomen, denumit pe scurt *polarizarea dielectricului*, efectul cîmpului electric în interiorul dielectricului crește aparent de ε ori (unde ε este permitivitatea sau constanta dielectrică relativă a materialului), iar pe electrozi sarcina electrică se mărește de tot atîtea ori față de vid.

În funcție de compoziția și structura materialului electroizolant, apar mai multe feluri de polarizare și anume:

— polarizarea electronică bazată pe deplasarea în sensuri opuse a nucleului încărcat pozitiv și a electronilor negativi de pe orbitele aceluiași atom neutru;

— polarizarea ionică, produsă de deplasarea în sensuri opuse a ionilor pozitivi și negativi dintr-o moleculă, sub acțiunea cîmpului electric;

— polarizarea termo-ionică a dipolilor, bazată pe orientarea în direcția cîmpului electric a unei părți a moleculelor polare, care datorită temperaturii înalte se aflau într-o mișcare haotică;

— polarizarea sarcinii spațiale, bazată pe divizarea sarcinii spațiale datorită cîmpului electric sau datorită altor cauze;

— polarizarea de strat sau interfacială, bazată pe acumulări de sarcini electrice pe suprafețele adiacente ale materialelor stratificate sau pe straturile electroizolante înglobate între straturi conductoare.

Fenomenul rezultant, de polarizare a materialelor electroizolante constă din suma fenomenelor componente menționate, care se desfășoară în timp cu viteze diferite. Astfel, de exemplu, acele fenomene, care depind numai de structura atomilor și a moleculelor (polarizare electronică și ionică), se desfășoară foarte rapid (de regulă într-un timp mai mic de o microsecundă). În schimb acele fenomene care depind de structura materialului (dipoli, suprafețe limită, neomogenități etc.) se desfășoară mult mai încet (minute sau chiar ore). După acest criteriu se deosebesc două feluri de polarizări ale dielectricului: *polarizare rapidă* și *polarizare lentă*.

● *Capacitatea și curentul absorbit de o construcție izolantă* sînt în funcție de fenomenele de polarizare (fenomenele microscopice) menționate mai sus. Astfel, de exemplu, la un aparat de înaltă tensiune, pentru care cîmpul electric este neuniform și mediul izolant este neomogen, capacitatea în prezența dielectricului, corespunzătoare unei configurații date a cîmpului electric, se calculează cu ajutorul relației

$$C = \varepsilon_{\text{echiv}} C_0 = \frac{Q}{U}, \tag{1.1}$$

în care: C_0 este capacitatea fără dielectric (în vid) corespunzătoare configurației date a cîmpului electric, calculată cu ajutorul teoremei lui Gauss;

ε_{echiv} este permitivitatea echivalentă a amestecului (combinației) de materiale izolante, din care se compune construcția izolantă (determinată, de exemplu, după criteriul sarcinii electrice constante sau a energiilor potențiale egale), care depinde, în general, de temperatura izolației și de frecvența tensiunii aplicate.

În realitate, în regim sinusoidal, permitivitatea dielectricului este un număr complex, care reflectă atît creșterea curentului capacitiv (a curentului care este defazat la 90° în avans față de fazorul tensiunii), cît și apariția componentei active a curentului. Din acest motiv, schema echivalentă a izolației va fi cea din fig. 1.4, în care C_b reprezintă capacitatea de bază, R_i — rezis-

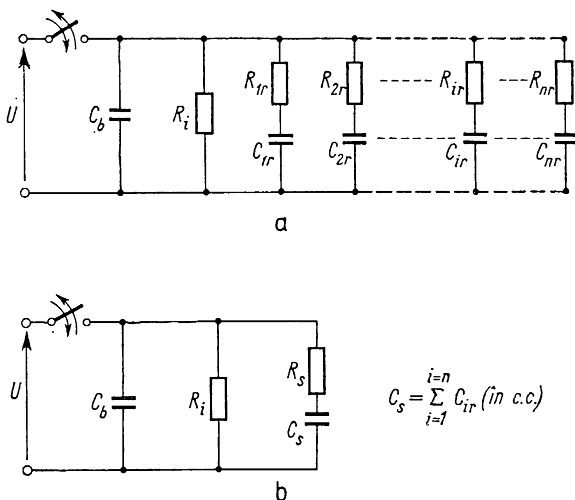


Fig. 1.4. Schemele echivalente ale izolației aparatelor electrice:
a — generală; *b* — simplificată.

tența de izolație, iar C_r, R_{ir} — elementele circuitului de relaxare de ordinul i corespunzătoare diferitelor fenomene de polarizare, și R_s, C_s — elementele circuitului de relaxare echivalent.

Schemele echivalente din figură modelează cu suficientă precizie și fenomenul de depolarizare (fenomenul de autodescărcare a dielectricului, care are loc la deconectarea tensiunii) și fenomenul de polarizare remanentă (fenomenul de revenire a tensiunii pe bornele dielectricului după scurtcircuitarea electrozilor pe o durată de timp mică).

● *Factorul de dispersie* se definește prin relația $k_D = \frac{C_s}{C_b} 100\%$ și permite o caracterizare globală a stării izolației unui aparat (mărimile C_s și C_b, conform fig. 1.4).

Deplasarea purtătorilor de sarcină dintr-o poziție într-altă poziție de echilibru datorită cîmpului electric extern, atrage după sine apariția corespunzătoare a unui curent în dielectric de la sursa de tensiune la care este racordată construcția izolantă.

● Curentul corespunzător fenomenului de polarizare rapidă s-a denumit *curent capacitiv* sau curentul de încărcare (descărcare) a izolației și variază exponențial în timp, avînd o amortizare rapidă, conform expresiei

$$i_c = \frac{U}{R_\Sigma} e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{U}{R_\Sigma} e^{-\frac{t}{R_\Sigma C}} \tag{1.2}$$

unde: R_Σ este rezistența ohmică internă a sursei de tensiune (care a creeat cîmpul electric) și rezistențele circuitelor exterioare (de protecție, ale conductoarelor de legătură, ale redresorului etc.) construcției izolante;
C — capacitatea echivalentă a izolației;
τ — constanta de timp de încărcare (descărcare) a izolației, corespunzătoare primei etape de polarizare (polarizare rapidă).

● Curentul de polarizare corespunzător fenomenului de polarizare lentă (polarizare de relaxare) a izolației s-a denumit *curent de absorbție* a dielectricului, care arată că, chiar după terminarea primei faze a fenomenului de încărcare, izolația continuă să absoarbă un curent. Acest curent, de cele mai multe ori, variază după formula empirică a lui Curie

$$i_a = \alpha_p C \Delta U t^{-N}, \tag{1.3}$$

unde: α_p este o constantă care depinde printre altele de tipul și materialul izolației, de temperatură și de alte condiții concrete în care se desfășoară fenomenul de polarizare în izolația examinată;
$N =$ 0,5 ... 1,2 în majoritatea cazurilor la echipamentul electric de înaltă tensiune;
ΔU — variația tensiunii aplicate (dacă tensiunea se reglează în trepte, atunci aceasta este egală cu tensiunea de treaptă).

În cazul aplicării instantanee a tensiunii U

$$i_a = \alpha_p C U t^{-N} = B_p t^{-N} \tag{1.4}$$

unde $B_p = \text{const.}$

Dacă după încărcarea și polarizarea prealabilă sarcina electrică acumulată se descarcă printr-o rezistență R_d, atunci cei doi curenți de polarizare vor varia în timp conform relațiilor (ca și cum pe bornele izolației s-ar aplica o tensiune egală dar de polaritate inversă):

$$i_c' = -\frac{U}{R_d} e^{-\frac{t}{\tau}} = -\frac{U}{R_d} e^{-\frac{t}{R_d C}} \tag{1.5}$$

și

$$i_a' = -\alpha_p C U t^{-N} = -B_p t^{-N}. \tag{1.6}$$

● Variația cantității de *sarcină electrică absorbită* de dielectric este un criteriu de defectoscopie mai sensibil și mai sintetic, adică un indicator valoros al stării izolației aparatelor electrice, care rezultă din expresia

$$Q_a = \int_0^\infty i_a \, dt. \tag{1.7}$$

● Izolația aparatelor electrice nu este ideală, ca de altfel izolația întregului echipament de înaltă tensiune. Ea prezintă o rezistență denumită *rezistență de izolație* R_i finită, și corespunzător o conductanță G_i diferită de zero, valoarea căreia depinde de temperatura izolației, de condițiile mediului, de starea suprafeței izolante și de durata aplicării tensiunii.

În consecință, la aplicarea unei tensiuni la bornele izolației (între înfășurări și masă, între două borne separate din punct de vedere galvanic etc.) va apărea un curent, denumit *curent de scurgere* sau *de scăpări* (sau curent de pierderi)I_s, care străbate dielectricul, prin volum (curent de conducție datorită conductanței de volum) și pe suprafață (curent de conducție datorită conductanței superficiale sau curent de fugă). Mărimea acestui curent în cazul unui dielectric solid, va fi

$$i_{R_i} = \frac{U}{R_i} = G_i U \tag{1.8}$$

unde $R_i = \dfrac{R_v R_{sp}}{R_v + R_{sp}}$ este rezistența de izolație formată din rezistența de volum și rezistența superficială, legate în paralel. Acest curent este prezent nu numai în izolații solide, ci și în izolația gazoasă și lichidă a aparatelor.

În aer, curentul de conducție este mic și provine din deplasarea electronilor și ionilor sub efectul cîmpului electric.

În ulei, mărimea acestui curent este determinată de: intensitatea fenomenelor de disociere, ponderea impurităților de toate gradele (moleculare, coloidale etc.) provenite din mediul ambiant sau din fenomene fizico-chimice interne, intensitatea fenomenelor de electroliză și de electroforeză din izolația lichidă.

În materiale electroizolante solide, fenomenul de conducție electrică este mai complicat (datorită interacțiunii mai intense a particulelor componente).

● La aparatele electrice acest curent, și valoarea, bine cunoscută de personalul de exploatare, a *factorului de absorbție* $K_a = \dfrac{R_{60s}}{R_{15s}}$ sau a *indicelui de polarizare* $K_p = \dfrac{R_{10\,min}}{R_{1\,min}}$, variază în limite largi.

În cazul aplicării pe bornele izolației a unei *tensiuni alternative* sau *de impuls* nu se pot dezvolta pînă la capăt toate cele trei componente ale curenților prin dielectric. Curentul de scurgere este componenta care se pune în evidență cel mai ușor, iar curentul de absorbție cel mai greu. Variațiia rapidă a cîmpului nu permite dezvoltarea acestei componente din urmă, datorită inerției mari a particulelor. Astfel, de exemplu, la aplicarea tensiunii sinusoidale apare un curent prin dielectric cu un defazaj caracteristic. Diagrama vectorială a curenților și interdependența diferitelor mărimi în acest caz, este dată în fig. 1.5.

Pe figură s-a notat cu I_0 acel curent, pur capacitiv, care ar fi existat dacă între electrozi în locul materialului electroizolant ar fi fost vid. Introducerea materialelor electroizolante între electrozi duce la creșterea curentului capacitiv de ε' ori la $U =$ const și la apariția unei componente active de ε''

ori mai mare decît intensitatea curentului inițial. Componenta activă este compusă din componenta activă I_{da} a intensității curentului de polarizare a dielectricului, legată de pierderile de energie pentru polarizarea acestuia, și din curentul de conducție I_i prin dielectric. Creșterea componentei capacitive se face prin adăugarea componentei reactive I_{dr} a curentului de polarizare a dielectricului, legată de variația energiei înmagazinate de acesta în procesul de polarizare.

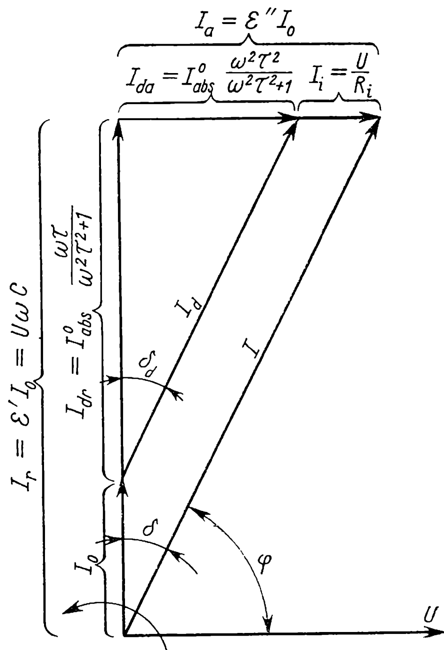


Fig. 1.5. Diagrama vectorială a curenților care străbat izolația aparatelor electrice supusă la o tensiune U: I_r — componenta reactivă a curentului total; I_a — componenta activă a curentului total; I_{dr} — componenta reactivă a curentului de polarizare I_d; I_{da} — componenta activă a curentului de polarizare I_d; $I_i = \frac{U}{R_i}$ — curentul de conducție electrică; I^0_{abs} — curentul absorbit de izolație în momentul $t = 0$, τ — Constanta de timp a fenomenului de polarizare.

● *Curentul total I absorbit de dielectric* în c.a. va fi defazat în avans față de tensiunea aplicată cu $\varphi = 90° - \delta$ de unde rezultă (pentru condițiile $\operatorname{tg} \delta \ll 1$, cînd $\cos \varphi \approx \operatorname{tg} \delta$) astfel de mărimi importante pentru tehnica tensiunilor înalte, ca: *unghiul de pierderi dielectrice* δ sau *factorul de pierderi dielectrice* $\operatorname{tg} \delta$ sau *cifra de pierderi dielectrice* $\varepsilon \operatorname{tg} \delta$, valorile cărora, la un aparat considerat, depind: de frecvența tensiunii aplicate, de temperatura și conținutul de umezeală a izolației etc.. Creșterea acestor mărimi peste anumite limite, în condițiile unor tehnologii de fabricație sau unei întrețineri necorespunzătoare, reprezintă un semnal prețios pentru luarea unor măsuri, în fabrica constructoare sau în exploatare, de preîntîmpinare a deteriorării echipamentului electric.

Valoarea curentului, exprimată în mărimi complexe, este

$$\underline{I} = (G + j\omega C)\,\underline{U}, \tag{1.9}$$

iar densitatea curentului

$$\underline{\mathbf{J}} = (\gamma + j\omega\varepsilon\varepsilon_0)\,\underline{E}. \tag{1.10}$$

Înlocuind în expresia (1.10) permitivitatea echivalentă complexă a izolației se va obține [34]

$$\underline{\mathbf{J}} = [\,\gamma + j\omega\varepsilon_0(\varepsilon' - j\varepsilon'')]\,\underline{E} = (\gamma + \omega\varepsilon''\varepsilon_0 + j\omega\varepsilon'\varepsilon_0)\,\underline{E}. \tag{1.11}$$

Din ecuația (1.11) se vede, că în curent alternativ pierderile în izolația aparatelor sînt mai mari decît în curent continuu și se compun din pierderi Joule-Lenz datorită conducției (exprimate prin mărimea γ) și pierderilor de polarizare a dielectricului (exprimate prin $\omega\varepsilon''\varepsilon_0$). Dacă $\gamma \gg \omega\,\varepsilon''\varepsilon_0$,

atunci pierderile Joule-Lenz sînt determinante, în schimb dacă $\gamma \ll \omega \varepsilon'' \varepsilon_0$, atunci aceste pierderi pot fi neglijate față de pierderile de polarizare ale dielectricului.

● Fenomenul fizic de deteriorare a izolației aparatelor este întrucîtva diferit dacă se produce în exterior (se străpunge sau se conturnează izolația externă) sau în interior (străpunge sau conturnează izolația internă), dacă are loc în izolația longitudinală sau transversală (principală) sau între fazele aparatelor. Consecințele străpungerii sau conturnării izolației autoregeneratoare și neautoregeneratoare sînt diferite, ca și implicațiile unor străpungeri sau

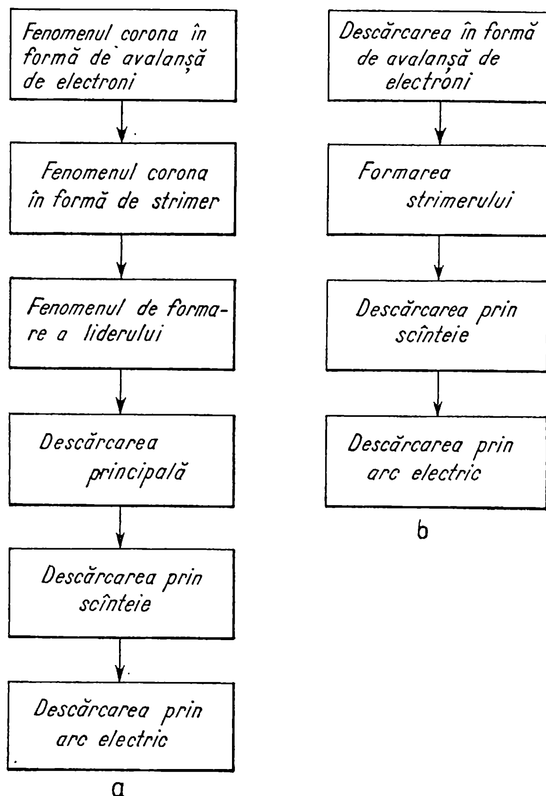


Fig. 1.6. Mecanismul străpungerii izolației în aer (fazele descărcărilor disruptive) după Dolghinov:

a — în cîmp electric neuniform cu intervale lungi; *b* — în cîmp electric uniform cu intervale scurte.

conturnări din exploatare față de acelea de pe platforma de încercare a fabricii constructoare.

● *Descărcările disruptive* de la electrod la electrod (de la bornă la bornă) se deosebesc și ele de descărcările nedisruptive care nu întotdeauna reprezintă un pericol de importanță capitală. Astfel, de exemplu, mecanismul străpungerii izolației externe, în aer, este cel indicat în fig. 1.6.

Fenomenul se bazează pe dezvoltarea proceselor de ionizare şi pe răspîndirea lor în formă de avalanşe de electroni.

Străpungerea este însoţită de fenomene luminoase şi acustice spectaculoase, în special în condiţiile exploatării, unde, datorită puterii mari de scurtcircuit a sursei, descărcarea iniţială se transformă în arc electric de putere cu toate consecinţele sale nefaste.

Fenomenul de străpungere a izolaţiei externe a aparatelor electrice se caracterizează prin următoarele mărimi:

— tensiunea minimă de străpungere U_{sa}, măsurată în kV (valoare efectivă) sau în kV_{max} (valoarea maximă).

— tensiunea minimă de conturnare U_{ca} măsurată în aceleaşi unităţi;

— rigiditatea dielectrică a intervalului de aer E_a, măsurată în kV/cm sau kV_{max}/cm;

— caracteristica tensiune-curent (volt-amper);

— caracteristica tensiune-timp (volt secundă);

— coeficientul de impuls (raportul dintre tensiunea de străpungere la impuls şi la 50 Hz).

Cu aceleaşi mărimi poate fi caracterizată şi străpungerea izolaţiei interne în ulei.

Tensiunea de străpungere a aerului curat este funcţie de produsul *pd*, (presiune × distanţă), care în cîmpuri omogene are o valoare minimă în zona produselor *pd* mici (legea lui Paschen). La aceeaşi distanţă dintre electrozi, probabilitatea străpungerii este mai mare cînd suprafeţele electrozilor sînt mai mari (efect de suprafaţă).

În cazul izolaţiei externe şi interne a aparatelor, cîmpul electric este, de obicei, neuniform, iar străpungerea se iniţiază din punctul unde izolaţia este cea mai slabă şi nu neapărat în locul unde neuniformitatea este cea mai mare.

Dacă descărcările se produc pe suprafaţa unor materiale izolante solide, adică la *tensiunea de conturnare* a izolaţiei, atunci, de obicei, se compromit proprietăţile electroizolante ale suprafeţei respective, în special în cazul materialelor organice, pe care rămîn urme ale arcului electric (materiale cu rezistenţă slabă faţă de arc electric de putere şi faţă de curenţi de conturnare). În fig. 1.7 se dă spre exemplificare o ierarhizare a materialelor sintetice în funcţie de rezistenţa lor faţă de curenţii de conturnare (de fugă). Aceste urme de efluvii sau de conturnări modifică şi repartiţia tensiunii. Fenomenele mecanice termice şi chimice pot să contribuie şi ele la producerea şi lărgirea urmelor de descărcări.

Pentru evaluarea tensiunilor de străpungere şi de conturnare a izolaţiei externe şi interne a aparatelor pot fi folosite formule de calcul sau curbe ridicate pe cale experimentală [1].

Rigiditatea dielectrică, adică intensitatea medie a cîmpului electric la care se produce străpungerea sau conturnarea izolaţiei externe a aparatelor, este funcţie de forma electrozilor şi de mediu. Mărimile fizice din figurile 1.8 ... 1.13 sînt proporţionale cu intensitatea cîmpului electric numai la va-

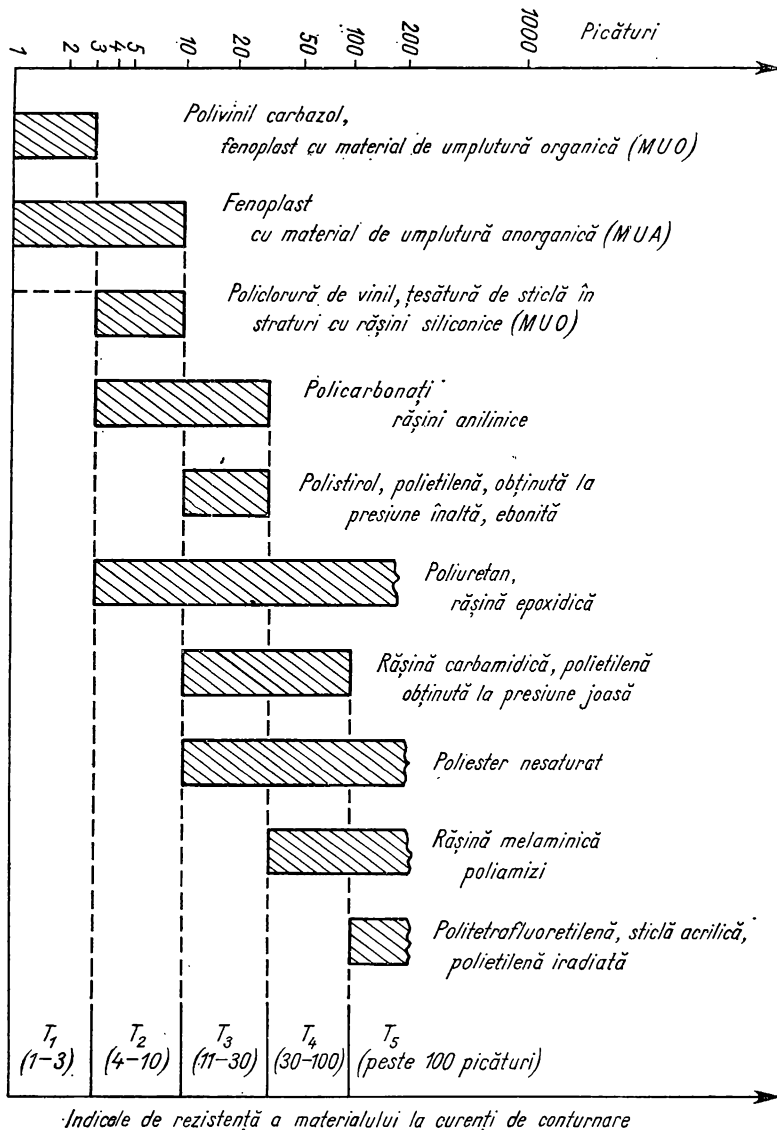


Fig. 1.7. Clasificarea diferitelor materiale electroizolante sintetice în funcție de rezistența la curenți de conturnare (verificată conform DIN 53480).

lori mici ale acesteia, iar la valori mari (care prezintă interes din punct de vedere al solicitării izolației) interdependența devine neliniară, motiv pentru care comportarea izolației externe este mai adecvat să fie caracterizată prin tensiunile de străpungere și conturnare menționate.

1.1.2. Solicitarea termică. Rezistenţa izolaţiei la căldură şi la frig

În timpul funcţionării aparatelor, se degajă o cantitate de căldură importantă în căile de curent (cuprul, aluminiul), în circuitele magnetice (fierul şi în izolaţia (dielectricii), care împreună duc, direct sau indirect, la solicitarea termică a izolaţiei.

Izolaţia aparatului, fiind de obicei în contact direct cu conductorul căii de curent, este solicitată la o temperatură care depinde în primul rînd de cantitatea căldurii degajate ce variază în limite foarte largi în funcţie de regimul de încărcare a liniei şi în funcţie de tensiunea de serviciu.

Astfel, de exemplu, pierderile în cuprul transformatoarelor de curent înseriate sau în cuprul transformatoarelor de tensiune legate în paralel variază în funcţie de regimul de încărcare a liniei, respectiv în funcţie de tensiunea de serviciu a reţelei. Pierderile Joule-Lenz şi căldura corespunzătoare degajată în calea de curent a aparatelor contribuie în mod direct la încălzirea izolaţiei solide a conductoarelor. În cazul cînd pierderile într-un punct al izolaţiei cresc considerabil cu temperatura poate să aibă loc aşa-numitul fenomen de *străpungere termică* a izolaţiei solide.

În acele izolaţii solide, în care pierderile dielectrice (de conducţie şi de polarizare) sînt mici şi valoarea acestor pierderi este practic independentă de temperatura dielectricului, nu poate să aibă loc decît aşa-numitul fenomen al *străpungerii electrice*. Caracterul străpungerii izolaţiei cu pierderi dielectrice însemnate depinde de felul solicitării. Astfel, de exemplu, la apariţia supratensiunii de origine atmosferică, pe bornele izolaţiei nu poate să aibă loc decît străpungere electrică, deoarece pentru fenomenul străpungerii termice a izolaţiei timpul este prea scurt (izolaţia nu poate fi încălzită la temperatura critică).

Condiţiile de cedare a căldurii au o importanţă deosebită din punct de vedere al solicitărilor termice, deoarece ele stabilesc în primul rînd temperatura de regim a izolaţiei solide şi supratemperatura conductoarelor care se află în contact cu izolaţia solidă a căii de curent, determinînd în felul acesta *durata de viaţa* (v. fig. 1.10) a izolaţiei aparatului, în funcţie de rezistenţa la căldură a materialelor izolante (clasa Y, A, E, B, F, H şi C) folosite.

Caracteristicile electrice şi neelectrice ale diferitelor materiale izolante, din care se compune structura izolaţiei aparatelor, depind într-o foarte mare măsură de temperatură. Practic toate caracteristicile variază — mai mult sau mai puţin — cu temperatura. Variaţia în funcţie de regimul termic a proprietăţilor se caracterizează prin aşa-numitul coeficient de variaţie cu temperatura CVT, care se defineşte prin relaţia

$$\mathrm{CVT} = \frac{1}{x}\,\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\left[\frac{1}{{}^\circ\mathrm{C}}\right], \qquad (1.12)$$

în care x este o caracteristică oarecare a materialului (dimensiuni, conductivitate, permitivitate, tg δ etc.).

Creşterea temperaturii duce la intensificarea mişcării termice a particulelor elementare şi în general la micşorarea forţei de interacţiune (de atrac-

ție) dintre acestea. Acele fenomene fizice, care au fost limitate ca amploare din cauza forțelor de interacțiune, la temperaturi mai ridicate se desfășoară mai ușor. Astfel, de exemplu, *conductivitatea electrică* a materialelor izolante folosite în construcția aparatelor electrice în general crește cu temperatura

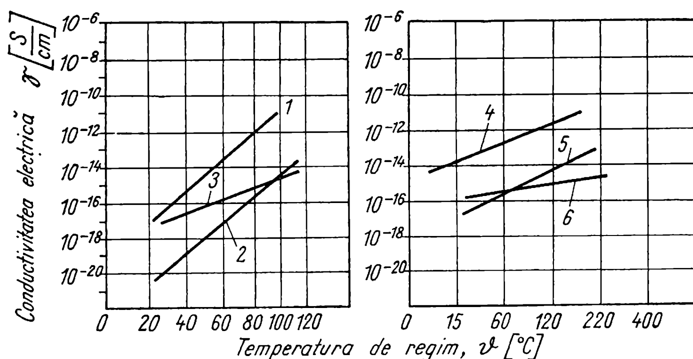


Fig. 1.8. Dependența de temperatură a conductivității electrice γ a unor materiale electroizolante folosite în construcția (izolația) aparatelor electrice (după Vajda):

1 — policlorură de vinil; *2* — polietilenă; *3* — hîrtie de cablu; *4* — lac de rășină bituminoasă; *5* — rășină siliconică; *6* — rășină de poliuretan.

La temperaturi relativ joase, așa cum rezultă și din fig. 1.8, conductivitatea electrică a materialelor crește liniar cu temperatura de regim. O mărire de ordinul gradelor a temperaturii, în unele cazuri, poate duce la creșterea cu cîteva ordine de mărime a conductivității electrice a materialelor izolante componente.

Variația *permitivității* cu temperatura este mai complexă și nu așa de substanțială ca a conductivității. Permitivitatea poate să crească (dielectrici polari) sau să scadă (dielectrici nepolari) în funcție de temperatură, variația ei depinzînd de caracterul fenomenului de polarizare care are loc. La materiale cu permitivitate mică, creșterii temperaturii îi corespunde, de obicei, o scădere a valorii permitivității. La materiale cu permitivitate mare, se pot distinge și zone de temperatură la care corespunde o creștere considerabilă a permitivității (de exemplu la sovol). La majoritatea materialelor electroizolante solide folosite azi în practică, variația permitivității cu temperatura este direct proporțională.

Pierderile în dielectric datorită conducției cresc cu temperatura, iar cele datorită fenomenului de polarizare au o valoare maximă la o temperatură care depinde de natura materialului izolant, așa cum se vede și din fig. 1.9.

Valoarea extremă din figură se exprimă prin faptul că, la temperaturi mici, constanta de timp a fenomenelor de polarizare lentă este mai mare decît perioada tensiunii de serviciu a aparatului, polarizarea nu poate să se dezvolte pînă la capăt și în consecință pierderile de polarizare sînt reduse. La unele zolații (hîrtia impregnată în ulei) se constată două extreme ale tg δ: una la

— 60°C şi alta la + 60°C. La temperaturi mari, constanta de timp a polarizării poate să fie mai mică decît perioada tensiunii de serviciu, dar în acest caz se micşorează şi forţele de interacţiune opuse polarizării; fenomenul se desfăşoară în condiţii mai uşoare şi în consecinţă pierderile corespunzătoare se reduc.

În general, curba de variaţie a factorului de pierderi dielectrice va avea forma dictată de ponderea pierderilor de conducţie faţă de cele de polarizare.

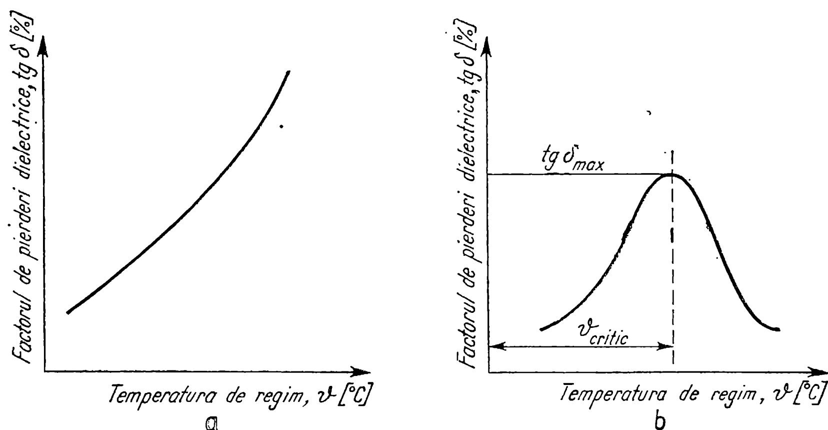


Fig. 1.9. Variaţia tgδ în funcţie de temperatură la materiale electroizolante în care predomină:

a — conductivitatea; b — fenomenele de polarizare de relaxare.

Deoarece pierderile de conducţie cresc vertiginos cu temperatura, la temperaturi mai înalte predomină, de obicei, componenta cu variaţie exponenţială

$$\text{tg}\,\delta = \text{tg}\delta_0 e^{b(\vartheta-\vartheta_0)}, \tag{1.13}$$

unde: b este coeficientul de variaţie cu temperatura (CVT) a tg δ;
tg δ_0 — valoarea tg δ la temperatura de referinţă ϑ_0 (care este de, obicei 20°C).

Rigiditatea dielectrică a izolaţiei scade cu creşterea temperaturii, coeficientul de variaţie cu temperatura a acestei caracteristici, de importanţă capitală rareori depăşeşte valoarea $3 \cdot 10^{-3}$ 1/°C.

În cazul unor solicitări electrice de scurtă durată (supratensiuni de comutaţie), rigiditatea dielectrică a izolaţiei este practic independentă de temperatură. În schimb, în cazul solicitărilor de lungă durată (la tensiuni de serviciu şi la supratensiuni temporare), regimul termic al dielectricului joacă un rol deosebit şi poate să fie cauza străpungerii izolaţiei. Acest fenomen este foarte periculos, în special pentru izolaţia solidă şi izolaţia hîrtie-ulei a aparatelor electrice de foarte înaltă tensiune. Străpungerea termică a izolaţiei are loc atunci cînd mediul lichid (uleiul) sau gazos (aerul) de răcire a izolaţiei solide nu poate să evacueze căldura excesivă, generată în izolaţie (pierderi dielectrice) sau transmisă izolaţiei din fierul sau cuprul aparatelor, adică atunci cînd

$$\Sigma p_{iz} \geqslant \alpha\, S\,(\vartheta_{iz} - \vartheta_m) \qquad [\text{W}], \tag{1.14}$$

unde: Σp_{iz} este suma pierderilor din izolaţia examinată, în W;

α — coeficientul de transmitere a căldurii de pe suprafaţa izolaţiei, în $\frac{W}{m^2 °C}$;

S — suprafaţa izolaţiei, în m²;

ϑ_{iz} — temperatura pe suprafaţa izolaţiei solide, în °C;

ϑ_m — temperatura mediului de răcire (ulei, aer), în °C, care se află în contact cu izolaţia solidă.

Din formulă rezultă că fenomenul de străpungere termică a izolaţiei se declanşează dacă ansamblul izolaţiei aparatului se va găsi în condiţii de răcire necorespunzătoare şi dacă pierderile din izolaţie depăşesc o valoare critică. Ţinînd cont de faptul că evacuarea pierderilor din cuprul şi din fierul aparatelor este asigurată, rezultă că fenomenul de străpungere termică se poate evita prin controlul pierderilor dielectrice (care sînt proporţionale cu pătratul tensiunii de serviciu sau a supratensiunilor temporare) de către personalul de exploatare şi prin luarea de măsuri corespunzătoare (uscarea izolaţiei, schimbarea uleiului, vidarea construcţiei izolante etc.).

Valoarea tensiunii la care se declanşează fenomenul de străpungere termică este determinată de structura izolaţiei, de proprietăţile materialelor izolante componente şi de temperatura de regim a izolaţiei din zona critică (cu circulaţie împiedicată a agentului de răcire). Prin intensificarea regimului de răcire a aparatelor (dacă este posibil), pericolul străpungerii termice iminente poate să fie amînat sau chiar eliminat.

Caracteristicile neelectrice ale materialelor electroizolante, din care se compune izolaţia aparatelor, sînt de asemenea supuse unor modificări datorită solicitărilor termice. Astfel, de exemplu, la temperaturi joase caracteristicile electrice ale izolaţiilor de regulă se îmbunătăţesc în schimb alte caracteristici, ca *flexibilitatea* şi *elasticitatea* materialelor izolante solide se pierd. Aceste materiale devin uşor casante, în special în condiţiile unor vibraţii, cînd deseori apar fisuri în diferitele piese izolante. În acelaşi mod începe deteriorarea izolaţiei şi la variaţiile rapide de temperatură, în cicluri de încălziri şi răciri succesive rapide. La ulei, răcirea duce la congelarea parţială sau totală, cînd capacitatea de evacuare a căldurii scade brusc şi se pot forma în labirinţii construcţiei izolante goluri (alveole) pentru intensificarea descărcărilor parţiale.

Suprasolicitarea termică a izolaţiei din mase plastice în construcţia aparatelor de joasă tensiune duce la *înmuierea* sau *plastifierea* lor, în condiţiile cărora o solicitare mecanică suprapusă realizează cu uşurinţă deformaţii remanente ale pieselor. Sub influenţa temperaturii materialele electroizolante, şi în special uleiul de transformator, se dilată. Dacă la piesele din materiale solide electroizolante construcţia aparatului nu permite dilatarea, atunci în piesa respectivă apar tensiuni interne periculoase, care în condiţii defavorabile duc la deformaţii remanente, la ruperi, crăpături şi fisuri superficiale sau interne. *Dilatarea* şi *contractarea* uleiului de transformator condiţionează respiraţia aparatului neermetizat, fenomen prin care, în condiţiile exploatării, izolaţia se umidifică şi se alterează. Deosebit de periculoase sînt aşa-numitele *impulsuri calorice* pentru izolaţie, cînd datorită dilatării rapide şi substanţiale a unei părţi (de exemplu partea interioară) a izolaţiei faţă de cealaltă parte (de exemplu partea exterioară) izolaţia este compromisă. Astfel de cazuri pot avea

loc datorită scurtcircuitelor la bornele aparatelor (de ex. treceri izolate), cînd conductorul şi suprafaţa interioară a izolaţiei conductorului se încălzeşte foarte repede, la sute de °C, suprafaţa exterioară a izolaţiei avînd cel mult cîteva zeci de °C.

Coeficientul de difuzie şi viscozitate a materialelor electroizolante variază de asemenea foarte sensibil (după o lege exponenţială) cu temperatura. Mai puţin sensibilă este variaţia cu temperatura a diferitelor caracteristici termotehnice (de exemplu, conductivitatea termică şi cedarea de căldură scade puţin cu creşterea temperaturii). Coeficientul de variaţie cu temperatura a caracteristicilor mecanice este mai esenţială: rezistenţa şi elasticitatea materialelor scade, iar deformaţia materialelor se modifică mai substanţial cu creşterea temperaturii.

La temperaturi înalte se intensifică fenomenul de difuzie, de evaporare, de absorbţie şi se accelerează reacţiile chimice din materiale izolante, care în final duc la îmbătrînirea şi oboseala izolaţiei.

1.1.3. Solicitarea chimico-termică. Îmbătrînirea izolaţiei

Reacţiile chimice şi fenomenele fizice prin care se alterează treptat toate caracteristicile izolaţiei sînt de tipuri diferite şi anume [29]:

$AB \rightarrow A + B$ ca de ex: la depolimerizare, hidroliză, electroliză;

$ABC \rightarrow AB + C$ ca de ex: la hidroliză, evaporare etc.;

$ABC \rightarrow A + BC$ idem;

$A + B \rightarrow AB$ ca de ex: la polimerizare, coagulare, oxidare.

În anumite reacţii (primele trei) moleculele mai mari se descompun în molecule mai mici, în cadrul cărora apar ioni, care micşorează rigiditatea dielectrică şi reduc rezistenţa de izolaţie a materialului. În urma reacţiilor de polimerizare etc. (tipul al patrulea) materialele electroizolante pierd din elasticitatea lor iniţială şi fisurează la eforturi mecanice mai uşor. Evident că diferitele reacţii chimice care îmbătrînesc izolaţia, au viteze diferite în funcţie de temperaturile de regim (permanent sau intermitent) şi de particularităţile izolaţiei. De exemplu, izolaţia anorganică practic nu îmbătrîneşte la temperaturile care apar în echipamentul electric de înaltă tensiune. Din acest punct de vedere sînt interesante curbele de viaţă ale unor izolaţii uzuale în construcţia aparatelor electrice, reprezentate în fig. 1.10.

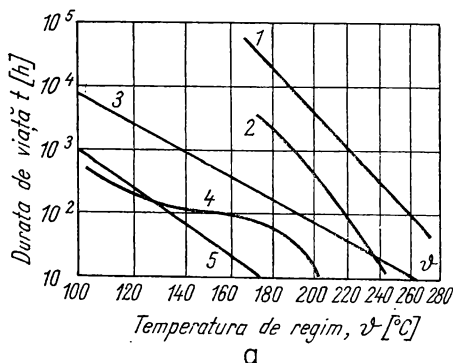
Curbele din figură, care reprezintă durata de viaţă a unei izolaţii în funcţie de temperatura de regim, depind în mare măsură de criteriul îmbătrînirii CI (degradarea izolaţiei datorită solicitărilor combinate chimico-termice, exprimată prin reducerea tensiunii de străpungere sub o valoare tolerată, apariţia fisurilor etc., adică prin manifestarea simptomelor din tabelul 1.1).

La evaluarea mai exactă a duratei de viaţă a izolaţiei aparatelor prin încercări accelerate ar trebui însă luate în considerare în afară de temperatură şi alte aspecte, ca de exemplu:

— felul şi particularităţile materialelor care se folosesc într-o construcţie izolantă concretă şi fenomenele fizico-chimice care pot să contribuie la îmbătrînirea izolaţiei;

— reacțiile chimice și fenomenele fizice care nu sînt legate neapărat de temperatura înaltă, ci provin din partea mediului ambiant sau din partea pieselor izolante adiacente, dar care pot să „infecteze izolația" (agresivitatea sau incompatibilitatea materialelor adiacente);

— influența altor solicitări (electrice, mecanice, de mediu) care pot să contribuie și ele la scurtarea vieții izolației (de exemplu deteriorarea materialelor datorită vibrațiilor) prin obosirea ei.



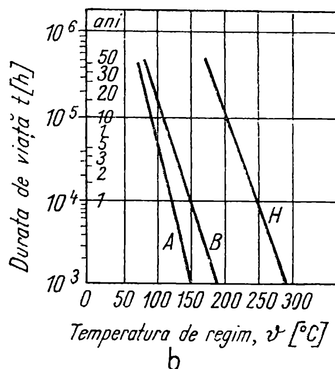


Fig. 1.10. Curbele duratei de viață a unor materiale electroizolante folosite în construcția aparatelor electrice, după Németh: (a) și curbele duratei de viață care se folosesc la îmbătrînirea artificială a izolației clasa A, B și H după Vajda (b):

1 — conductor emailat cu lac siliconic (CI — reducerea tensiunii de străpungere sub 500 V); *2* — folie de rășină siliconică (CI — apariția fisurilor vizibile); *3* — email pe bază de materiale sintetice (CI — reducerea tensiunii de străpungere sub 500 V); *4* — izolație de clasă A (hîrtie, prespan, lemn, etc., impregnate în ulei sau în lacuri, rășini poliesterice nesaturate etc.); *5* — bumbac (CI — întindere peste 2 mm).

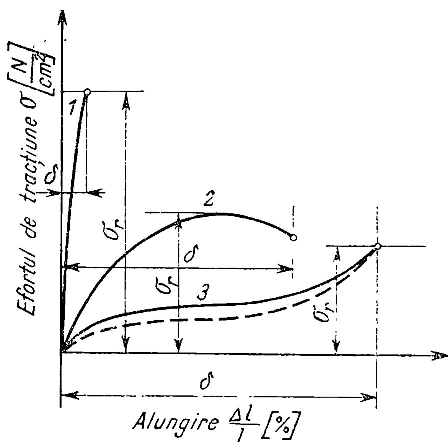


Fig. 1.11. Diagramele tipice ale efortului de tracțiune a materialelor izolante:

1 — rigide; *2* — plastice; *3* — elastice; σ_r — tensiunea de rupere; δ — întinderea maximă a materialului.

1.1.4. Solicitări mecanice

Caracteristicile structurilor electroizolante, din care se compune izolația aparatelor, se modifică datorită solicitărilor mecanice în funcție de felul și dimensiunile materialelor utilizate.

Astfel, de exemplu, la un efort de tracțiune materialele fragile se rup după o deformare foarte mică, materialele plastice după o deformare foarte mare, iar deformarea maselor elastice urmărește o curbă histerezis, (v. fig. 1.11).

Caracteristicile de compresiune ale acestor materiale, devin, de asemenea, neliniare la solicitări mecanice mai mari.

Caracteristicile materialelor variază foarte sensibil cu durata solicitării. O solicitare mecanică îndelungată este mai periculoasă decît una de scurtă durată, egală, deoarece duce la oboseala materialelor şi în consecinţă la prăbuşirea structurii izolante.

1.1.5. Solicitări de mediu şi de climă

Izolaţia aparatelor electrice de înaltă şi de joasă tensiune se află într-o interacţiune permanentă, în mod direct sau indirect, cu mediul ambiant. Această interacţiune duce la scăderea performanţelor iniţiale ale izolaţiei. Este important însă ca acest fenomen de înrăutăţire treptată a calităţii izolaţiei să se desfăşoare în timp, cu o viteză suficient de mică, asigurînd în acest fel durata nominală a vieţii aparatelor. Pe lîngă această condiţie generală, care se cere izolaţiei în ansamblu, pieselor izolante componente li se impun condiţii severe de *compatibilitate* (o piesă să nu „infecteze" pe celelalte), *de stabilitate* (să reziste cît mai bine influenţelor externe, de mediu) şi de *neutralitate* (să nu atace materialele învecinate şi mediul ambiant). Solicitările care provin din aerul ambiant sînt denumite *solicitări atmosferice* care se împart în două categorii: *solicitări naturale* (datorită umezelii, ozonului, prafului, radiaţiilor solare etc.) şi *solicitări artificiale* (gaze agresive, particule volante etc.). După ponderea şi combinaţia diferitelor componente ale solicitărilor naturale condiţiile pe globul pămîntesc se împart în şapte categorii de climă, redate în tabelul 1.2.

Tabelul 1.2

Caracteristicile principale ale solicitărilor de climă a aparatelor electrice în diferite zone climatice ale globului pămîntesc

Codul climei	Denumirea climei	Temperatura în °C		Umiditatea relativă a aerului %	Solicitări speciale					
		min.	max.		R/C	P/Ch	P_r/N	CS	F	C_i/B
N	Climă normală	−45	+45	max. 80	×	×	×	×	—	—
F	Climă arctică şi de tundră	−65	+35	max. 80	—	×	—	—	×	—
A	Climă de mare altitudine (peste 2500 m)	−65	+35	Variaţia zilnică de la 10% la 100%	—	×	—	—	×	—
TS	Climă subtropicală	0	+45	max. 75	—	—	×	×	×	×
TA	Climă tropicală aridă (uscată) sau de deşert	−10	+55	10−80	×	—	×	×	×	×
TH	Climă tropicală umedă sau de junglă	0	+45	75−95	×	—	×	×	×	×
TF	Climă generală (cea mai aspră)	−65	+55	10−95	×	×	×	×	×	×

Notă: R/C — solicitări suplimentare cu rouă şi/sau depuneri de condens; P/Ch-idem cu promoroacă şi/sau chiciură; P_r/N-idem cu praf şi /sau nisip; CS-idem cu ceaţă salină; F-idem cu furtuni; C_i/B-idem cu ciuperci şi/sau bacterii (microorganisme)

● Aerul înconjurător pe lîngă componentele de bază — azot și oxigen — conține o serie de alte gaze, vapori de apă, particule coloidale, particule microscopice și macroscopice (amestec de particule moleculare, coloidale, macroscopice și microscopice).

Datorită agitației termice a moleculelor, concentrația diferitelor tipuri de particule mai ușoare (gaze, vapori de apă) tinde să se egaleze, ocupînd toate spațiile posibile (fenomenul de difuzie), iar particulele mai grele tind să se depună pe suprafețele obiectelor (fenomenul de gravitație).

Dacă într-un punct din spațiu concentrația unui anumit fel de particule ușoare în amestec este egală cu c, iar variația acestei concentrații în direcția x este $\mathrm{d}c/\mathrm{d}x$, atunci printr-un element de suprafață $\mathrm{d}S$, într-un timp $\mathrm{d}t$ vor difuza un număr de [31]

$$\mathrm{d}n = -D\mathrm{d}S\frac{\mathrm{d}c}{\mathrm{d}x}\mathrm{d}t \qquad (1.15)$$

particule, unde D este coeficientul de difuzie în cm^2/s, care depinde de materialul ce difuzează și de mediul în care se produce fenomenul de difuzie.

Ținînd cont că concentrația c este proporțională cu densitatea δ și cu presiunea parțială p a particulelor ușoare, masa care se difuzează independent se poate exprima și prin relația

$$\mathrm{d}m = -D\mathrm{d}S\frac{\mathrm{d}\delta}{\mathrm{d}x}\mathrm{d}t \quad [\mathrm{kg}] \qquad (1.16)$$

sau

$$\mathrm{d}m = -D\mathrm{d}S\frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}x}\mathrm{d}t \quad [\mathrm{kg}]. \qquad (1.17)$$

În expresiile de mai sus coeficientul de difuzie în sistem SI are dimensiunea $\frac{\mathrm{m}^2}{\mathrm{s}}$, respectiv în $\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m \cdot s \cdot Pa}}$.

Dacă izolația aparatului este un gaz (de exemplu hexaflorură de sulf), la presiune înaltă, chiar și în condițiile unei capsulări complete, trebuie să se acorde o atenție deosebită etanșărilor pentru asigurarea proprietăților de izolare inițiale, deoarece umezeala din aer poate pătrunde în interiorul anvelopei datorită legii difuziei, ilustrată prin relațiile de mai sus. Datorită fenomenului de difuzie particulele pătrund și în ulei. Cantitatea de particule care pătrund în ulei depinde de *capacitatea de absorbție* a uleiului pentru fiecare tip de particule în parte. Această capacitate de absorbție se micșorează cu creșterea temperaturii și prin încălzirea aparatului particulele ușoare (care depășesc noua limită redusă a capacității de absorbție) sînt evacuate sub formă de bule.

Trebuie menționat că prezența unor bule de gaze în ulei nu înseamnă neapărat că uleiul este saturat de gaze. În ulei deseori se formează bule de gaze stabile, cu o tensiune mare superficială, care ies la suprafața uleiului în timpul aplicării unor șocuri de curent sau de tensiune. Acest fenomen însă nu semnalează în mod obligatoriu vreun defect în izolația aparatului.

Uleiul este deosebit de avid ca să absoarbă din mediul ambiant particule coloidale, chiar şi particule micro- sau macroscopice. Dacă particulele respective nu sînt neutre sau dacă au proprietăţi dielectrice inferioare faţă de ulei, atunci ele devin cauza unei rapide scăderi a proprietăţilor izolante a uleiului (fig. 1.12), declanşează reacţii chimice (de exemplu, oxidarea uleiului) sau pot

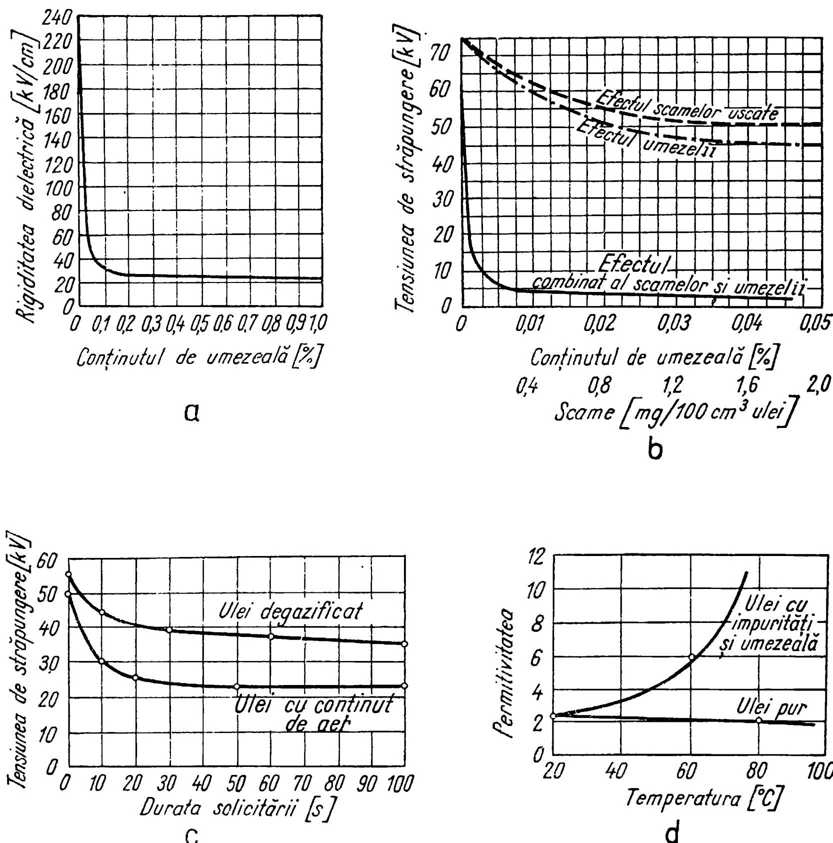


Fig. 1.12. Influenţa umezelii şi a impurităţilor asupra următoarelor caracteristici ale uleiului:
a — rigidităţii dielectrice; *b*, *c* — tensiunii de străpungere; *d* — permitivităţii.

să joace un rol de catalizator pentru reacţii chimice deja declanşate. O cantitate de impurităţi relativ mică poate să reducă foarte mult tensiunea de străpungere, să mărească curenţii absorbiţi şi pierderile din izolaţie.

Pe suprafaţa izolaţiei solide forţele moleculare nu sînt echilibrate şi din acest motiv ele atrag molecule de gaz care creează un strat coloidal superficial; se adsorb. Dacă stratul este inactiv din punct de vedere chimic, atunci se modifică numai rezistenţa superficială şi tensiunea de conturnare (de regulă,

în direcția micșorării). Dacă stratul nu este neutru din punct de vedere chimic, atunci se declanșează coroziunea suprafeței, calitatea suprafeței distrugîndu-se treptat.

Condiții deosebit de nefavorabile se întrunesc dacă fenomenul de coroziune se desfășoară în condiții de umiditate și eventual, chiar la o temperatură crescută. Acizii și bazele formate în aceste condiții accelerează și mai mult fenomenul de coroziune a suprafeței.

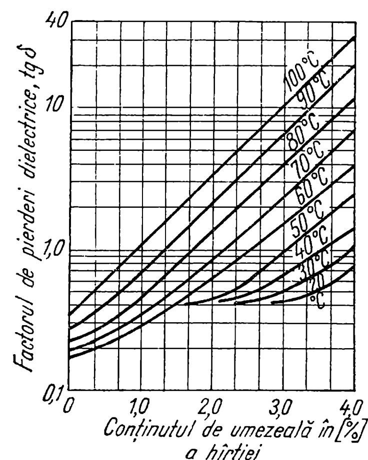
Dacă suprafața izolației solide are pori, capilare și alte erori de fabricație, atunci particulele pătrund și acolo prin difuzie. Amploarea acestui *fenomen al absorbției* este în funcție de porozitatea materialului. Dacă dimensiunea incluziunilor gazoase (alveole) depășește circa 10 μm, atunci în condiții nefavorabile izolația respectivă este treptat erodată prin descărcări parțiale și prin reacțiile chimice însoțitoare.

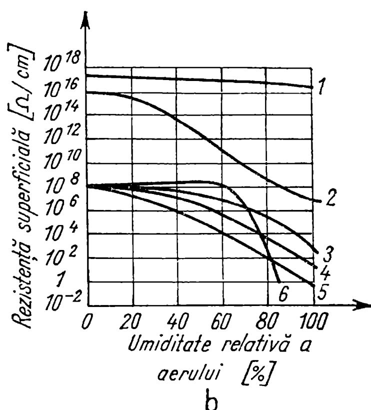
Influența dăunătoare a umezelii absorbite sau adsorbite, asupra izolației hîrtie-ulei a aparatelor, este și mai semnificativă. În acest caz, apa absorbită de izolația internă a aparatelor prin neetanșeități, împreună cu apa care se produce în interiorul aparatului datorită unor reacții chimice (de exemplu, oxidarea uleiului) se repartizează într-o proporție diferită între hîrtie și ulei. O cantitate de apă, care depinde de temperatura și gradul de saturație a uleiului, se dizolvă în ulei formînd o soluție coloidală sau uneori chiar moleculară. O altă cantitate de apă care nu poate să fie dizolvată de ulei din cauza saturației acestuia se separă și se lasă la fundul cuvei. Datorită capacității de absorbție foarte mari față de cea a uleiului (în stare rece cu două ordine de mărime) hîrtia absoarbe umezeala din ulei. Cu alte cuvinte, umezeala din mediul ambiant se transportă prin intermediul aerului și al uleiului și se înmagazinează în izolația de hîrtie, preșpan, izoplac a aparatului. Conținutul de apă înrăutățește rigiditatea dielectrică și accelerează îmbătrînirea izolației de hîrtie și de ulei. În afară de aceasta, datorită variației de temperatură au loc pendulări ale apei din hîrtie în ulei și în sens invers, fenomene care sînt însoțite de separarea unor cantități mari de apă din ulei sau de traversarea forțată a apei prin porozitățile izolației de hîrtie. Umezeala pătrunsă în izolația solidă a aparatelor într-un interval de timp scurt este mult mai periculoasă decît apa absorbită treptat de-a lungul anilor.

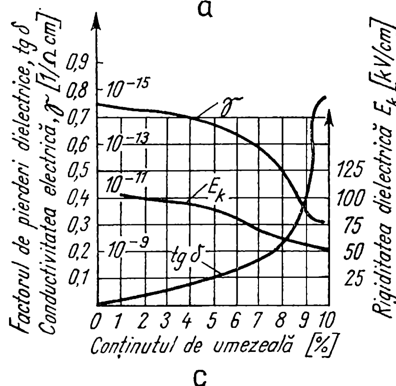
Apa absorbită la lucrările de montaj și de punere în funcțiune a aparatului este cea mai periculoasă. Este semnificativă și variația altor caracteristici sau a acelorași caracteristici, dar la alte materiale, în funcție de umiditate; această variație este dată în fig. 1.13.

Umezeala aerului poate să fie absorbită direct de izolația externă a aparatelor.

Umezeala aerului poate să fie și adsorbită pe suprafața izolată, ca de exemplu pe suprafața transformatoarelor de măsură turnate în rășini sintetice sau în general pe izolația externă a aparatelor. Unele suprafețe resping, altele atrag picăturile de apă din aer în funcție de capacitatea de adsorbție a materialului respectiv și de starea suprafeței izolante (lăcuită, impregnată, prelucrată). Cele care resping se numesc materiale *hidrofobe*, iar cele care atrag *hidrofile*. Capacitatea de adsorbție a diferitelor materiale se caracterizează prin unghiul θ de așezare a picăturilor de apă pe suprafața izolantă (fig. 1.14). Cu cît este mai mare acest unghi, cu atît mai puțină umezeală poate să se depună pe supra-







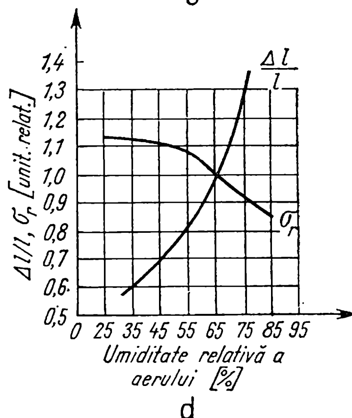


Fig. 1.13. Variația caracteristicilor electrice (*a*, *b*, și *c*) și mecanice (*d*) în funcție de conținutul de umezeală a:

a — hîrtiei; *b* : *1* — parafinei; *2* — sticlei; *3* — micii; *4* — bachelitei; *5* — porțelanului glazurat; *6* — ebonitei; *c* — preșpanului; *d* — hîrtiei.

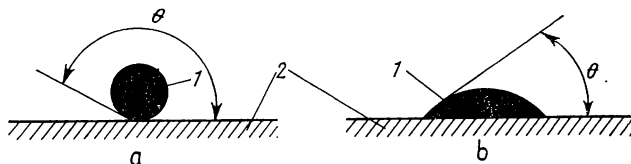


Fig. 1.14. Unghiul θ de așezare a picăturilor de apă (*1*) pe suprafețele izolante (*2*) în cazul materialelor:

a — hidrofobe; *b* — hidrofile;
θ = 95 ... 110° la parafină; 90 ... 110° la ulei siliconice; 95 ... 100° la polietilenă: 85 ... 98° la lacuri siliconice; 85 ... 92°la lacuri uleioase pe bază de bitum; 55 ... 90° la lacuri fenolice; 50 ... 85° la lacuri și vopsele de ulei de uscare în aer liber; 35 ... 85° la lacuri pe bază de rășini fenolice; 0° la sticlă.

fața izolantă. Trebuie menționat că acest unghi depinde și de calitatea suprafeței respective, iar stratul de umezeală depus contribuie la reducerea tensiunilor de ținere, în special dacă se amestecă cu particule volante din atmosferă [33], cu care poate forma un electrolit. Electroliții astfel formați prin conductivitatea lor electrică bună și prin agresivitatea lor chimică considerabilă pot să provoace multe avarii ale izolației externe (poluarea izolației). Severitatea condițiilor de poluare se caracterizează deseori prin conductivitatea stratului depus (tabelul 1.3).

Tabelul 1.3

Clasificarea zonelor în funcție de severitatea poluării izolației caracterizată prin conductivitatea stratului depus pe suprafața izolatoarelor

Zona	Caracteristicile principale ale zonei.	Conductivitatea maximă a stratului în μS/cm
0	Teren agricol sau zonă forestieră cu dezvoltare neînsemnată de praf	5
I	Zonă agricolă cu exploatarea intensă a solului, văile fluviilor, zone mlăștinoase cu cețuri dese apropiate de sol	10
II	Zonele limitrofe ale unor localități industriale, apropierea căilor ferate cu circulație intensă de locomotive cu abur, litoralul cu burniță și ceață, conținînd săruri minerale	15
III a	Zonele apropiate ale unor surse de poluare intensă, ca de exemplu: combinate chimice, centrale termoelectrice mari, fabrici de ciment.	50
III b	Zonele adiacente (în apropierea imediată) a unor surse de poluare intensă (ca la III a)	150

1.2. Solicitările și fenomenele fizice de deteriorare ale căilor de curent

Piesele metalice care formează căile de curent principale sau auxiliare ale aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune, în condiții de exploatare, în principal, sînt solicitate *termic* (la temperaturi staționare și la încălzire de scurtă durată cu temperaturi variabile), *fizico-chimic* (datorită fenomenului de coroziune și de eroziune) și *mecanic* (datorită forțelor electrodinamice, de inerție etc. și datorită vibrațiilor).

1.2.1. Solicitarea termică

Piesele care alcătuiesc calea de curent a aparatelor, dar mai ales piesele de contact, cînd sînt străbătute de curenţi nominali, curenţi intermitenţi sau curenţi de scurtcircuit se încălzesc în mod diferit.

Diferenţele de temperatură dintre diferitele porţiuni dau naştere la un *flux caloric longitudinal*, care se transmite, în primul rînd, de-a lungul căii de curent prin *conducţie termică*. Cantitatea de căldură astfel transmisă este direct proporţională cu suprafaţa emiţătorului de căldură şi cu gradientul de temperatură de-a lungul căii de curent, care pentru mărimi elementare se poate determina din relaţia

$$\mathrm{d}Q = \lambda \mathrm{d}S \frac{\partial \vartheta}{\partial x} \mathrm{d}t \quad [\mathrm{J}], \tag{1.18}$$

în care: $\mathrm{d}S$ este suprafaţa elementară a emiţătorului de căldură în m^2, luată pe direcţia perpendiculară faţă de axa căilor de curent;

$\frac{\partial \vartheta}{\partial x}$ — gradientul de temperatură (variaţia temperaturii de-a lungul căii de curent, caracterizată prin coordonata x) în °C/m²;

λ — conductivitatea termică a metalelor din care se compune calea de curent, în W/m°C.

În tabelul 1.4 sînt date valorile lui λ pentru principalele materiale care se folosesc la căile de curent ale aparatelor.

Diferenţele de temperatură dintre piesele căilor de curent şi mediul adiacent dau naştere la un *flux caloric transversal* (perpendicular pe axa căilor de curent) care se transmite mediului adiacent în primul rînd prin *convecţie* şi *radiaţie*.

Tabelul 1.4

Principalele caracteristici ale materialelor folosite la căile de curent ale aparatelor [10]

Caracteristicile / Materialul	Densitatea g/cm³	Rezistivitatea Ω · cm	Căldura masică J/g°C	Conductivitatea termică, W/cm°C
Platina	21,4	11.10^{-6}	0,135	0,7
Aur	19,3	$2,3.10^{-6}$	0,126	3,1
Paladiu	12	$10,8.10^{-6}$	0,230	0,7
Argint	10,5	$1,65.10^{-6}$	0,234	4,18
Wolfram	19,3	$5,5.10^{-6}$	0,140	1,9
Cupru	8,9	$1,75.10^{-6}$	0,390	3,8
Grafit	1,8	700.10^{-6}	0,65	1,6
Aluminiu	2,7	$2,9.10^{-6}$	0,96	2,1
Cadmiu	8,6	$7,5.10^{-6}$	0,28	0,9
Nichel	8,8	8.10^{-6}	0,46	0,7
Zinc	7,1	$6,1.10^{-6}$	0,39	1,1
Fier	7,8	10.10^{-6}	0,64	0,6
Manganin	7,46	164.10^{-6}	0,68	0,23
Crom	7,0	20.10^{-6}	0,43	0,67
Mercur	13,55	94.10^{-6}	0,14	0,09

Cantitatea de căldură cedată mediului înconjurător, lichid sau gazos, prin convecție, se poate determina din relația

$$dQ = \alpha d S(\vartheta_2 - \vartheta_1) d t, \qquad (1.19)$$

în care: α este coeficientul de transmitere a căldurii, în W/m²°C;

ϑ_2 — temperatura suprafeței de contact a sursei de căldură cu mediul lichid sau gazos, în °C;

ϑ_1 — temperatura mediului lichid sau gazos, în °C.

Valorile coeficientului de transmitere a căldurii variază în limite foarte largi în funcție de calitatea suprafeței dinspre care se cedează căldura și de condițiile gazohidrodinamice ale mediului (lichid și gazos) de răcire.

De exemplu

$\alpha = 3{,}5 \ldots 35 \ \frac{W}{m^2{}^\circ C}$ — în cazul unor suprafețe amplasate în aer staționar;

$\alpha = 12 \ldots 600 \ \frac{W}{m^2{}^\circ C}$ — idem, dar în curent de aer;

$\alpha = 250 \ldots 6\,000 \ \frac{W}{m^2{}^\circ C}$ — idem, dar în lichide.

Cantitatea de căldură cedată mediului adiacent prin radiație, la aparatele electrice, este, de obicei, mai mică decît cea transmisă prin conducție sau prin convecție și se exprimă prin legea lui Stefan-Boltzmann.

În regimul normal de funcționare, încălzirea căii de curent a aparatelor este determinată de echilibrul căldurii degajate și transmise longitudinal și transversal.

În serviciile intermitente sau de scurtă durată acest echilibru nu are loc, iar în piesele care formează calea de curent a aparatului se degajă căldură mai multă (perioada de încălzire) sau mai puțină (perioada de răcire) față de căldura transmisă longitudinal și/sau transversal. Astfel, de exemplu, în cazul unui regim de scurtcircuit, a cărui durată nu depășește cîteva secunde căldura transmisă mediului adiacent poate fi neglijată, dar neglijarea căldurii transmise longitudinal ar duce la erori de apreciere grosolane în evaluarea încălzirii diferitelor piese (porțiuni) din calea de curent a aparatelor.

Temperaturile de regim și cele tranzitorii au o influență deosebită asupra unor serii de caracteristici ale materialelor căii de curent și ale materialelor izolante adiacente. Cu cît este mai aspră solicitarea termică a acestor materiale cu atît mai repede îmbătrînește și obosește izolația aparatului, adică se scurtează viața lui (izolația se înmoaie, materialele își pierd caracteristicile electrice și mecanice inițiale, scade viscozitatea unsorilor, se modifică volumul pieselor etc.).

Trebuie menționat că trecerea curentului nominal, a supracurenților și a curenților de scurtcircuit determină nu numai încălzirea elementelor componente ale căii de curent (tije, bare, eclise, cuțite, bobine, legături flexibile, contacte, bimetale etc.), ci și a tuturor celorlalte elemente legate constructiv (piese metalice și izolante adiacente) sau cuplate inductiv (prin pierderi datorită curenților Foucoult și/sau fenomenului histerezis) cu acestea.

În solicitarea termică a căii de curent *încălzirea contactelor* mobile și fixe joacă un rol de importanță deosebită. Această încălzire este determinată de *rezistența de trecere* în punctul de contact, care se află într-o interdependență neliniară cu temperatura (fig. 1.15). Încălzirea inadmisibilă a contactelor poate

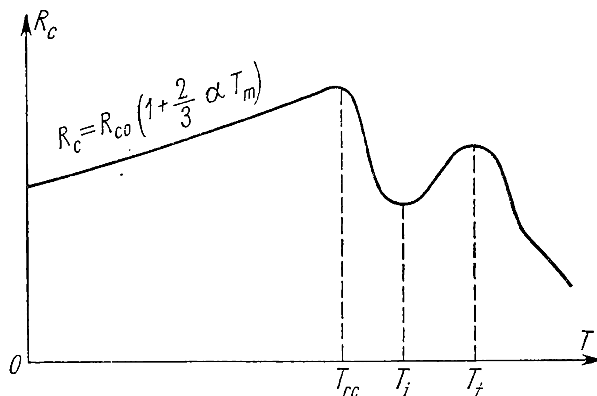


Fig. 1.15. Interdependența dintre rezistența ohimică și temperatura contactelor:

T_m — temperatura maximă a punctului de contact; T_{rc} — temperatura de recristalizare a materialului (150 ... 200°C); T_i — temperatura de înmuiere a materialului; T_t — temperatura de topire.

să ducă la recristalizarea materialului de contact, la lipirea (sudarea la rece) sau sudarea datorită arcului electric (de preamorsare sau de rupere) a pieselor de contact, la oxidarea suprafețelor de contact, la creșterea coeficientului de frecare în contactele mobile (sau eventual la griparea lor datorită dilatării termice inadmisibile) etc.

Forța de apăsare pe contact joacă un rol deosebit în determinarea încălzirii locului de contact. În tabelul 1.5 sînt redate forțele specifice de apăsare în

Tabelul ***1.5***

Forțele specifice de apăsare pe contactele aparatelor electrice de joasă tensiune

Denumirea aparatului	Forța specifică, în N/A
1. Contacte de argint la :	
1.1. Contactoare uzuale	0,07...1,145
1.2. Întreruptoare automate	0,1...0,49
1.3. Contactoare miniaturale	0,04
2. Contacte de cupru la:	
2.1. Contactoare	0,145...0,24
2.2. Aparate de comandă	0,24...0,34

contact (forţa de apăsare pe contact raportată la curentul nominal al aparatului) pentru unele aparate de joasă tensiune, după Taev [10].

Lipirea sau *sudarea la rece* a contactelor argintate se produce la temperaturi mai ridicate. Forţa necesară de apăsare pe contact, în acest caz,

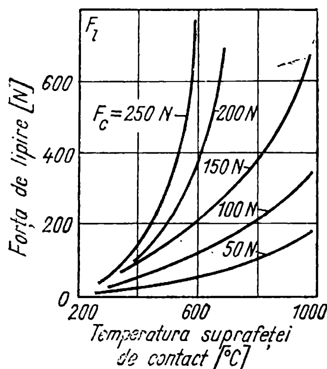


Fig. 1.16. Variaţia forţei de lipire (de sudare la rece) a contactelor de argint în funcţie de temperatura punctului de contact la diferite forţe de apăsare pe contact (după Bron).

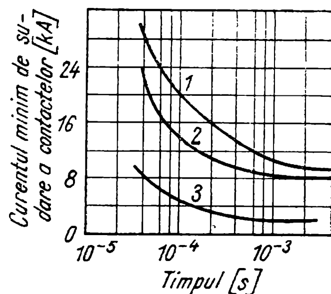


Fig. 1.17. Variaţia curentului minim de sudare a unor contacte în funcţie de timp, la forţe de apăsare variind între 50 şi 800 N (după Hilgarth):

1 — contacte de cupru; *2* — contacte de argint; *3* — contacte de nichel.

se află într-o dependenţă neliniară faţă de temperatura punctului de contact, aşa cum rezultă şi din fig. 1.16 (unde F_c este forţa de precomprimare a arcului).

Lipirea sau sudarea contactelor este în funcţie şi de durata de trecere a curentului prin îmbinarea respectivă de contact. Astfel, de exemplu, în fig. 1.17 este dată variaţia curenţilor de lipire a contactelor, după Hilgarth, în funcţie de timpul trecerii curenţilor de scurtcircuit la 50 Hz şi de felul materialului de contact, forţa de apăsare pe contact variind între 50 şi 800 N.

Materialul din care este confecţionată piesa de contact şi starea suprafeţei de contact influenţează şi ele asupra fenomenelor de degradare treptată sau de deteriorare a îmbinărilor de contact. Astfel, de exemplu, în fig. 1.18 este dat domeniul de utilizare a principalelor materiale de contact, metale de bază, în funcţie de zona curenţilor nominali pentru care este construit aparatul respectiv.

Influenţa stării suprafeţei de contact asupra rezistenţei de trecere şi în consecinţă asupra încălzirii pieselor de contact este detaliat analizată în [1, 3, 4, 5, 7 şi 9].

Solicitarea termică cea mai aspră a pieselor de contact are loc datorită arcului electric (la temperaturi între 10 000 ... 20 000°C), cînd erodarea şi topirea materialelor utilizate poate să ducă la *sudarea la cald* a contactelor şi la avarii grave.

Satisfacerea condiţiei de a obţine o rezistenţă de trecere minimă pentru a preîntîmpina sudarea la rece sau la cald a contactelor (precum şi a altor

inconveniente care însoțesc supraîncălzirea în regim de lungă durată sau în regimuri intermitente de funcționare a aparatului) de obicei contravine condi-

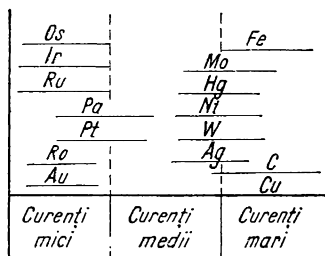


Fig. 1.18. Domeniile de utilizare a principalelor materiale de contact.

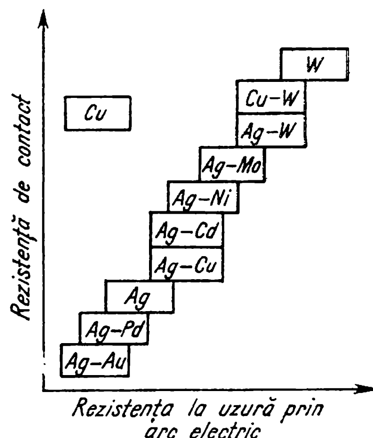


Fig. 1.19. Compararea calitativă a diferitelor materiale de contact folosite în construcția aparatelor electrice în privința rezistenței de contact și rezistenței lor la uzură prin arc electric.

ției de a asigura pieselor de contact o rezistență superioară la arc electric, așa cum rezultă și din fig. 1.19 [10].

1.2.2. Solicitarea fizico-chimică

Datorită unor gaze din atmosferă (O_2, O_3, N_2, SH_2, etc.), pe suprafața pieselor metalice care fac parte din calea de curent se formează pelicule (de decolorare, de pasivare, de oxidare) avînd rezistivitatea mai mare decît metalul de bază. Astfel, de exemplu rezistivitatea peliculelor de oxid a wolframului (WO_2), a cuprului (Cu_2O) și a nichelului (NiO) este aproximativ egală cu 10^{12}, 10^{10}, respectiv 10^8 $\Omega \cdot$ cm. Aceste pelicule se formează pe suprafața pieselor din calea de curent a aparatelor, chiar în condițiile de depozitare. Încălzirea aparatului în regimuri staționare duce la intensificarea proceselor fizico-chimice de oxidare și în general a fenomenelor de corodare a pieselor respective. Grosimea acestei pelicule este determinată de felul materialului și de temperatura de regim a căii de curent. Astfel, de exemplu, după formula empirică a lui Holm, în cazul peliculei de oxid de cupru, această grosime se poate aproxima prin relația [10]

$$\Delta = 10^{-8} \sqrt{400 + t\, 10^{\left(8{,}2 - \frac{1310}{T}\right)}} \ \text{[cm]}, \qquad (1.20)$$

în care: t este timpul, în h;
T — temperatura piesei, în K.

Formarea peliculelor cu rezistivitate mare poate să devină periculoasă în primul rînd pentru piesele de contact.

Rezistența de trecere a contactului depinde în mare măsură de felul materialului de bază și de frecvența de conectare a aparatului. Astfel, de exemplu, așa cum rezultă și din fig. 1.20, rezistența de trecere cea mai mică o au contactele de aur, de paladiu, de argint și aliajele Pt-Ni, Pt-Ir, Au-Ni.

Evident că aparatele de joasă tensiune și de curenți mici, unde forțele de apăsare pe contact sînt mai reduse, se află într-o situație mai defavorabilă din acest punct de vedere.

Trebuie menționat că pelicula poate să joace și un rol pozitiv în exploatarea aparatelor prin micșorarea forțelor intermoleculare, care duc la lipirea contactelor, și prin micșorarea coeficientului de frecare la contacte mobile. Din motivele arătate mai sus, atît în fabricare, cît și în exploatare, contactele aparatelor trebuie să stea în centrul atenției, ținînd cont și de recomandările cuprinse în [1].

Fiabilitatea contactelor depinde în mare măsură de fenomenul de eroziune caracterizat prin uzura contactelor sau trecerea materialului de la un electrod la celălalt. Eroziunea puntiformă (în formă de punte dintre electrozi) este

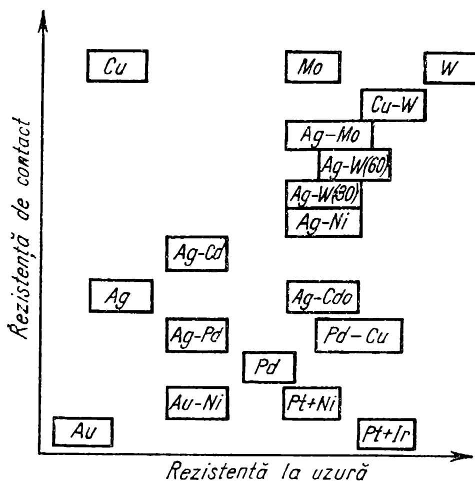


Fig. 1.20. Interdependența dintre rezistența ohmică de trecere a îmbinărilor de contact între diferite materiale și rezistența lor la uzură [10].

caracteristică aparatelor electrice de joasă tensiune și de curenți mici. Volumul de metal care trece de la anod la catod, la o deschidere a circuitului, în acest caz se aproximează cu ajutorul formulei [10]

$$V = k_u I^3 \qquad [cm^3] \qquad (1.21)$$

unde: k_u este o constantă a materialului de contact a anodului și catodului (la aur — $4{,}42 \cdot 10^{-14}$; la platină — $5{,}63 \cdot 10^{-14}$; la paladiu — $5{,}30 \cdot 10^{-14}$);

I — curentul, în A.

Eroziunea prin arc electric angrenează un volum de 5 ... 20 ori mai mare de material decît la eroziunea puntiformă, variind, în funcție de materialul utilizat (fig. 1.21), de distanța dintre contacte în poziția deschisă a aparatului, de integrala curentului întrerupt (de numărul cumulat al amperilor întrerupți) și de intensitatea cîmpului magnetic exterior (fig. 1.22).

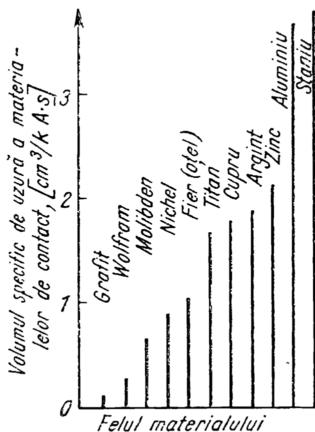


Fig. 1.21. Ierarhizarea materialelor de contact în funcție de uzura lor specifică, volumetrică (după Taev).

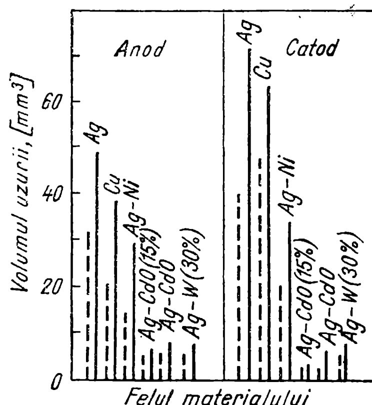


Fig. 1.22. Compararea materialelor de contact din punct de vedere al uzurii în prezența (linii pline) și în lipsa (linii punctate) cîmpului magnetic exterior de suflare a arcului electric (după Taev).

1.2.3. Solicitări mecanice

În calea de curent a aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune la trecerea curentului de scurtcircuit iau naștere solicitări mecanice importante datorită *forțelor electrodinamice*.

Gradul de solicitare a pieselor din calea de curent a aparatelor și a pieselor adiacente, rigid legate de acestea, este determinat de valoarea instantanee maximă a curentului de scurtcircuit, de lungimea, de forma, de amplasarea reciprocă în spațiu a pieselor străbătute de curent și de proprietățile magnetice ale mediului adiacent.

În cazul aparatelor monofazate, dar amplasate într-un montaj trifazat, polul din mijloc este solicitat mai mult decît polii laterali. În afară de aceasta, la trecerea curentului de scurtcircuit ia naștere o forță importantă de desfacere a contactelor. Valoarea acestei forțe este proporțională cu pătratul curentului și depinde de materialul și calitatea suprafeței de contact, așa cum este ilustrat în fig. 1.23.

Uzura pieselor de contact este amplificată şi de *vibraţia* lor *mecanică*, mai ales la conectarea unor supracurenţi (ca de exemplu, la pornirea cu contactoare a motoarelor cu rotor în scurtcircuit).

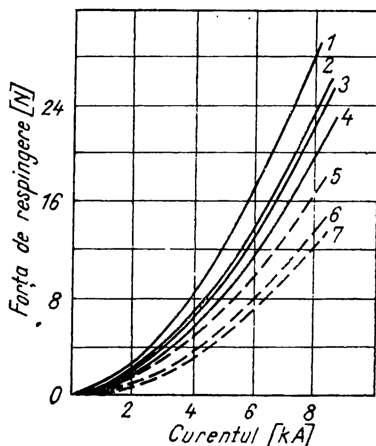


Fig. 1.23. Variaţia forţei electrodinamice de respingere a contactelor mobile în funcţie de valoarea curentului prin contacte, după Beer:

1 — de wolfram; *2* — de argint; *3* — de molibden; *4*, *5*, *6*, *7* — de cupru; *1*, *2*, *3*, *4*, — polizate; 5 — liniare; 6 — cu rază de curbură 8 mm; *7* — cu rază de curbură 5 mm'

1.3. Solicitările şi fenomenele fizice de deteriorare ale circuitelor magnetice

1.3.1. Solicitări electrice şi magnetice

Funcţionarea aparatelor electrice de înaltă tensiune şi de joasă tensiune cu un sistem electromagnetic dat (dispozitive electromagnetice fără subansambluri mobile şi mecanisme electromagnetice) depinde de o serie de factori şi anume: de starea circuitului magnetic, de starea circuitului electric, de componenta aperiodică a curentului sau tensiunii şi de conţinutul în armonici al acestora. Astfel de exemplu, la o întrerupere, chiar şi trecătoare, a înfăşurării secundare a transformatoarelor de curent, creşte vertiginos fluxul magnetic şi inducţia în fier, fapt care duce la inducţii remanente de valori însemnate, la erori inacceptabile în circuitele de măsură şi de protecţie. Dacă deschiderea circuitelor secundare durează un interval de timp ceva mai mare, atunci poate să aibă loc fenomenul cunoscut în exploatare sub denumirea de „incendierea fierului".

Fenomene similare, ca cele menţionate mai sus, pot să aibă loc în cazul scurtcircuitelor din sistemul electroenergetic datorită creşterii deosebite a curentului, dar mai ales datorită componentei aperiodice a acestuia. Din aceste motive, performanţele iniţiale ale acestor aparate se modifică şi devine necesară demagnetizarea miezului după procedeul descris în [1].

Fluxurile parazite, care la mecanismele şi dispozitivele electromagnetice se măresc de obicei în exploatare datorită scurtcircuitării tolelor şi a altor

motive descrise în [1], duc la creşterea curenţilor absorbiţi de la sursă, la micşorarea constantelor de timp ale circuitelor electrice şi a inerţiei electromagnetice a sistemului în ansamblu. Distrugerea izolaţiei buloanelor sau benzilor de strîngere a miezului magnetic şi a jugului datorită vibraţiilor (sau zdruncinatului chiar în timpul transportului) duce la formarea unor spire în scurtcircuit pe calea fluxului principal. Curentul ce străbate circuitul astfel format poate să supraîncălzească considerabil (peste valoarea dictată de pierderile datorită curenţilor Foucoult şi datorită fenomenului histerezis şi de condiţiile de răcire concrete) piesele de oţel străbătute, chiar pînă la topirea acestora.

1.3.2. Solicitări fizico-chimice

Cea mai importantă solicitare fizico-chimică a circuitelor magnetice este *coroziunea*. Gazele agresive din punct de vedere chimic din aer (ozon, SH_2, NO_x etc.) şi unele produse de descompunere care însoţesc îmbătrînirea uleiului de transformator (ca de exemplu sulful activ, acizi anorganici etc.) accentuează fenomenul de corodare a oţelului.

Evident că construcţiile de dispozitive electromagnetice cu circuite magnetice înglobate în răşini sintetice sau ermetic închise într-o anvelopă de gaz neagresiv (de exemplu hexaflorură de sulf) sînt solicitate din punct de vedere fizico-chimic, incomparabil mai puţin decît construcţiile în aer liber sau în ulei.

1.4. Solicitările şi fenomenele fizice de deteriorare ale mecanismelor de acţionare

Piesele din mecanismele de acţionare a aparatelor, în exploatare, sînt solicitate în primul rînd mecanic (la eforturi statice şi dinamice) şi fizico-chimic (la coroziune datorită poluării etc.).

1.4.1. Solicitări mecanice

Solicitările statice (ca de exemplu: la tracţiune, la compresiune, la încovoiere, la torsiune etc.) sînt mai puţin periculoase decît *solicitările dinamice* (care au loc în regimurile dinamice de funcţionare ale aparatelor), care la aparatele electrice de regulă au valori deosebit de ridicate [1].

Astfel, de exemplu, o verigă a mecanismului de acţionare solicitată de şocuri mecanice la amortizarea cursei contactelor mobile, în procesul de închidere sau de deschidere a întreruptoarelor de înaltă tensiune, poate să echivaleze ca efect solicitările statice fictive de zeci şi sute de ori mai mari (solicitările statice echivalente, corespunzătoare unor solicitări de şoc, în lanţul cinematic pot să fie incomparabil mai dure decît cele care rezultă din starea de repaus a întreruptorului).

Forţele care acţionează în verigile şi articulaţiile mecanismelor de acţionare pot fi împărţite în următoarele categorii după natura lor:

— forţe dezvoltate de dispozitivele de acţionare;
— forţe dezvoltate de arcuri;
— forţe care provin din greutatea verigilor mecanismului de acţionare;
— forţe de frecare statică şi dinamică;

— forțe de inerție;
— forțe electrodinamice etc.

Aceste forțe sau suma lor vectorială pot crea eforturi dinamice însemnate (presiuni specifice, eforturi de tăiere), în primul rînd în articulațiile mecanismului de acționare a aparatelor [1].

Pe parcursul mișcării echipajului mobil aceste forțe pot să acționeze la un moment dat, atît în sensul, cît și în sens opus deplasării pieselor analizate (de exemplu, deplasării contactelor).

Forța de tracțiune și lucrul mecanic de închidere și de declichetare a dispozitivelor de acționare sînt caracteristici sintetice interesante din acest punct de vedere, care dau o evaluare globală a tuturor forțelor antagoniste din mecanism.

Duritatea solicitării dinamice a pieselor se caracterizează prin *coeficientul dinamic*, care pentru o verigă dată va fi diferit la diversele tipuri de solicitări (tracțiune, încovoiere etc.) enumerate mai sus, în funcție de intensitatea și particularitățile fenomenului tranzitoriu electromecanic care are loc în aparat.

Solicitările dinamice în prezența cîmpurilor magnetice, electrice și termice intense sînt mai periculoase decît solicitarea pur mecanică. Deosebit de nocive sînt solicitările mecanice ciclice, ca de exemplu vibrațiile, care pot să destrame mecanismele fine (de temporizare, de zăvorîre etc.) ale aparatelor electrice de joasă tensiune sau dispozitivele de acționare (de închidere, de deschidere) ale aparatelor electrice de înaltă tensiune.

Vibrația în sarcină a contactelor aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune este dăunătoare și prin aceea că duce de obicei la lipirea sau chiar la sudarea contactelor.

1.4.2. Solicitări fizico-chimice

În exploatare, piesele din mecanismele de acționare a aparatelor sînt supuse la *corodare* și mai accentuată decît piesele din calea de curent. Acoperirile decorativ-protectoare ale acestor piese în fabrica constructoare și ungerea lor în exploatare pot să încetinească considerabil acest proces de corodare.

Mediile cu particule moleculare, coloidale, micro- și macroscopice agresive din punct de vedere chimic, pot să contribuie la accelerarea procesului de corodare a pieselor, mai ales în prezența umezelii și temperaturii ridicate a aerului ambiant. Variația bruscă a temperaturii intensifică și mai mult acest proces fizico-chimic. La creșterea temperaturii se intensifică evaporarea apei și se mărește conținutul de umezeală a aerului, astfel că la descreșterea succesivă a temperaturii, fenomenul de condensare a umezelii pe suprafețele respective are loc în condiții mai defavorabile. Coroziunea este nocivă pentru mecanismele de acționare a aparatelor prin creșterea frecărilor în articulații și prin blocarea (imobilizarea) lor atunci cînd ar fi maximă nevoie de ele (de exemplu, la declichetarea mecanismului întreruptorului în vederea lichidării avariei).

Evident că construcțiile capsulate, închise ermetic, (de exemplu echipamentul electric de înaltă tensiune închis în anvelopă metalică aflată sub hexaflorură de sulf comprimat) reprezintă soluții constructive optime din acest punct de vedere, prin care, printre altele, se rezolvă complet și definitiv problema fiabilității mecanismelor de acționare. Trebuie menționat că, după cercetările statistice ale unor specialiști francezi, datorită fiabilității necores-

punzătoare a mecanismelor de acționare ale aparatelor de comutație s-au produs incomparabil mai multe avarii (circa 80% din cazurile analizate) decît datorită nesiguranței în funcționare a restului de subansambluri din care se compun aparatele respective. Din aceste date statistice se poate ajunge la concluzia că, metodele de verificare a calității unor astfel de ansambluri ca: izolația, calea de curent, circuitul magnetic, dispozitive de stingere a arcului electric sînt dezvoltate incomparabil mai bine decît metodele de atestare a calității și fiabilității mecanismelor din construcția aparatelor electrice.

1.5. Solicitările și fenomenele fizice de deteriorare ale dispozitivelor de stingere a arcului electric

Dispozitivele de stingere ale aparatelor electrice de comutare în condițiile exploatării sînt solicitate: *chimic și termomecanic* din cauza gazelor degajate și datorită contactului direct al elementelor lor componente cu arcul electric aflat în stare de plasmă rece și *electric* din cauza tensiunii de restabilire [1, 8, 10].

1.5.1. **Solicitarea chimică și termomecanică**

În camera de stingere a majorității tipurilor de întreruptoare de înaltă și de joasă tensiune, la ruperea arcului se desfășoară un proces gazohidrodinamic de o intensitate deosebită. Substanțele de descompunere a mediilor de stingere în general, dar mai ales a uleiului, creează solicitări importante de natură chimică (de exemplu, carbonizarea pieselor izolante) și mecanică (presiuni de ordinul sutelor și miilor de N/cm^2) în acele materiale izolante și conductoare din care se compune camera de stingere. Solicitarea camerelor de stingere este

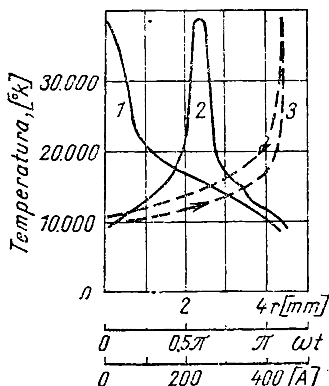


Fig 1.24 Variația temperaturii arcului electric răcit cu apă (după Gross) în funcție de:
1 — distanța măsurată de la axa lui; *2* — timp; *3* — curent (caracteristica dinamică a arcului).

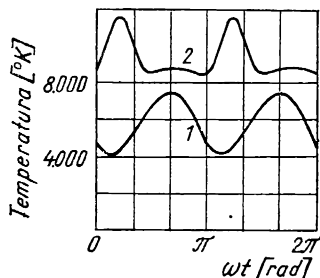


Fig. 1.25. Variația temperaturii arcului electric, după Butkevici și Suslov:
1 — în aer liber; *2* — în vapori de apă.

deosebit de grea datorită temperaturii ridicate a arcului electric care variază în timp și în spațiu în funcție de valoarea curentului și în funcție de mediul de stingere așa cum se vede în exemplul din fig. 1.24 și 1.25.

În aceste regimuri de funcționare eroziunea materialelor de contact trebuie să stea în centrul atenției experimentatorului (v. subcap. 1.2).

1.5.2. Solicitările electrice

În procesul de rupere a arcului electric în camera de stingere a întreruptoarelor se opun două fenomene fizice: fenomenul de ionizare (care tinde să restabilească arcul electric) și fenomenul de deionizare (care tinde să restabilească tensiunea pe contactele întreruptoarelor). Solicitarea camerelor de stingere a aparatelor electrice de înaltă tensiune în regimul restabilirii tensiunii este detaliat analizată în [1 și 8], iar a celor de joasă tensiune în [10].

1.6. Solicitările aparatului luat în ansamblu datorită unor factori climatici și de mediu

În funcție de locul de amplasare, aparatele se grupează în trei categorii: în *aparate de exterior* (categoria I de aparate montate în aer liber), *aparate de interior* (categoria a III-a de aparate montate în încăperi zidite încălzite) și *aparate de interior-exterior* (categoria a II-a de aparate montate în posturi metalice sau zidite neîncălzite). Condițiile climatice corespunzătoare celor trei locuri de amplasare vor fi diferite. La cele mai aspre condiții climatice și de mediu sînt expuse aparatele din prima categorie de amplasare, iar la cele mai blînde condiții sînt supuse aparatele de interior. În ansamblu aparatele din cea de a doua categorie de utilizare sînt supuse unor solicitări de duritate intermediară.

Solicitarea echipamentului electric în cele trei categorii de amplasare este caracterizată prin:

— temperatura mediului ambiant și mai ales viteza de variație a acestei temperaturi în timp;
— presiunea atmosferică, care la mari altitudini are valori considerabil mai mici decît cea la nivelul mării;
— densitatea aerului, care este în funcție de temperatura și presiunea atmosferică;
— umiditatea aerului;
— precipitațiile (ploaia, roua, zăpada);
— ceața și burnița;
— gheața și, în special, chiciura;
— radiațiile solare și, în general, radiațiile electromagnetice;
— vîntul și, în special, furtunile;
— poluarea aerului;
— vibrațiile;
— factorii biologici (microorganismele, insecte, păsări etc.).

Solicitarea și mecanismul de deteriorare a aparatelor electrice de înaltă tensiune și în special a izolației acestora, datorită factorilor externi enumerați mai sus este detaliat analizată în [1] și redată sugestiv în fig. 1.26.

Fiabilitatea aparatelor electrice de joasă tensiune depinde de majoritatea factorilor de mai sus, dar mai ales de condițiile de montaj. Astfel, de

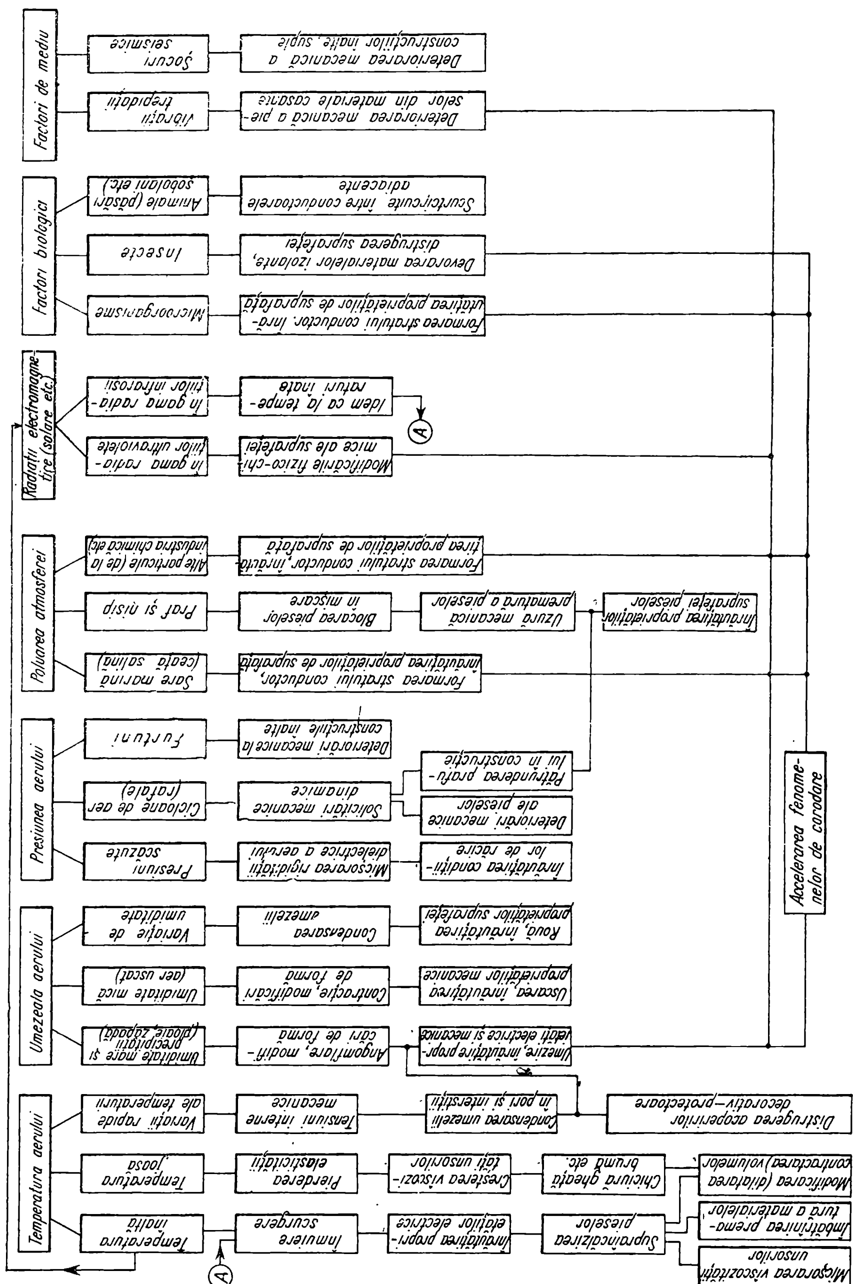


Fig. 1.26. Acţiunile de deteriorare (directe şi/sau indirecte) ale diferiţilor factori climatici şi de mediu asupra echipamentului electric.

exemplu, după calculele lui Drujinin [2], în funcție de locul de montare, aceste aparate trebuie să aibă fiabilități foarte variate, caracterizate prin următoarele cifre (evaluate în unități relative):

1 — în încăperi bine încălzite și ventilate;
15 — în posturi sau stații neîncălzite;
30 — pe vapoare în compartimente separate;
50 — pe platformele de cale ferată;
150 — pe bordul avioanelor;
700 — pe bordul rachetelor cosmice.

2. Condiții tehnice generale impuse și cuprinsul buletinelor de încercări

Aparatelor electrice folosite în instalațiile de distribuție de înaltă și de joasă tensiune li se impun o diversitate extrem de mare de condiții tehnice în standardele naționale (STAS, GOST, ASA, VDE etc.), în recomandările internaționale (CEI, CIGRE, CAER etc.) în normele interne departamentale (NID) sau în caietele de sarcini (CS) ale produsului și în literatura de specialitate [42 ... 71]. Pentru ușurarea muncii experimentatorului în Anexele 1 ... 4 sînt redate principalele documente care cuprind reglementări privind încercările aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune pe plan național și internațional (CEI). Încercarea, respectiv atestarea performanțelor unui aparat electric, impune verificarea vizuală, verificări prin măsurări și prin încercări a tuturor condițiilor și performanțelor cuprinse în aceste Anexe sau în alte reglementări (de exemplu, într-o anexă specială la contractul de furnitură) convenite între furnizorul și beneficiarul aparatului investigat.

2.1. Condiții generale impuse aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune

Izolația aparatelor electrice trebuie să reziste timp îndelungat (de exemplu circa 20 de ani la aparatele de înaltă tensiune și pînă la milioane de cicluri de manevră la aparatele de joasă tensiune) la solicitările electrice, termice, mecanice și fizico-chimice analizate la cap. 1, în condițiile prescrise de STAS, NID sau CS.

Astfel, de exemplu, izolația aparatelor electrice de înaltă tensiune trebuie să reziste la tensiuni de ținere de frecvență industrială de 1 min, la impuls de tensiune convențional (corespunzător supratensiunilor atmosferice, STA)

și la impuls de tensiune prelungit (corespunzător supratensiunilor de comutație, STC), așa cum rezultă și din tabelele 2.1 ... 2.3 după noile propuneri ale CEI.

Tabelul 2.1

Nivele de izolație recomandate de CEI pentru 1 kV $< U_m <$ 52 kV

Tensiunea maximă de serviciu pentru echipament U_m	Tensiunea de ținere la unde convenționale de supratensiuni atmosferice de impuls		Tensiunea de ținere la frecvență industrială
	Lista 1	Lista 2	
kV_{ef}	kV_{max}		kV_{ef}
3,6	20	40	10
7,2	40	60	20
12	60	75	28
17,5	75	95	38
24	94	125	50
36	145	170	70

Tabelul 2.2

Nivelele de izolație recomandate de CEI pentru 52 kV $\leqslant U_m <$ 245 kV

Tensiunea maximă de serviciu pentru echipament U_m	Valoarea de vîrf a tensiunii de fază de referință $U_m \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	Valoarea tensiunii de ținere la unde convenționale de supratensiuni atmosferice de impuls	Tensiunea de ținere la frecvență industrială
kV_{ef}	kV_{max}	kV_{max}	kV_{ef}
52	72,5	250	95
72,5	59	325	140
123	100	450	185
145	118	550	230
170	139	650	275
		750	325

La aceste încercări, izolația nu trebuie să străpungă, să conturneze sau să aibă descărcări nedisruptive superficiale (licăriri) sau descărcări interne (descărcări parțiale) intolerabile, care să compromită în timp, la tensiunea de serviciu și la supratensiuni, aparatul în ansamblu. În afară de aceasta, izolația trebuie să reziste la solicitările mecanice, statice și dinamice (șocuri și vibrații) impuse de norme. Astfel, de exemplu, trecerile izolate ale întreruptoarelor și suporturile izolante ale separatoarelor de înaltă și de foarte înaltă tensiune trebuie să reziste la forțe portante de încovoiere și de întindere de ordinul cîtorva mii de newtoni. Izolația aparatelor trebuie să suporte timp îndelungat

Nivele de izolație recomandate de CEI pentru $U_m \geqslant 245$ kV

Tensiunea efectivă maximă de serviciu pentru echipament, U_m	Valoarea de vîrf a tensiunii de fază de referință $U_m \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}}$	Valoarea de vîrf a tensiunii de ținere la unde convenționale de supratensiuni de comutație		Raportul dintre tensiunile de ținere la unde convenționale de supratensiuni atmosferice și cele de comutație	Valoarea de vîrf a tensiunii de ținere la unde convenționale de supratensiuni atmosferice de impuls
kV	kV	u. r.	kV		kV
245	200	3,25	650	1,15	750
		3,75		1,31	850
			750		
		3,06		1,27	
					950
300	215	3,47		1,12	
			850		
		2,86		1,24	
362	296				1050
		3,21		1,11	
			950		
		2,76		1,21	
					1175
420	343			1,12	
		3,06			
			1050	1,24	
		2,45			1300
				1,11	
525	429			1,36	
		2,71	1175	1,21	1425
				1,10	
				1,32	
		2,08	1300	1,19	1550
				1,09	
				1,38	
765	625	2,28	1425	1,26	1800
				1,16	
				1,26	1950
			1550		
		2,48		1,47	2100
				1,55	2400

solicitările termice, care predetermină viața aparatului, în ansamblu, prin interdependența următoare:

$$t_T = a\, e^{-b/T}, \tag{2.1}$$

unde: t_T este durata de viață a izolației aparatului;
T — temperatura de regim a izolației;
a, b — constante fizice.

Durata de viață a izolației (v. fig. 1.10) depinde în primul rînd de domeniul de utilizare (sau funcția pe care trebuie să o îndeplinească) și reprezintă un timp în care caracteristicile ei electrice, mecanice, termice etc., se reduc cu un

procent dat (de exemplu cu 10 ... 20%) față de cele inițiale (fenomenul de degradare și de îmbătrînire a izolației). Fenomenul de oboseală are loc, dacă sub acțiunea tuturor factorilor externi și interni izolația aparatelor se degradează înaintea expirării duratei nominale de viață. În afară de cele menționate, izolația aparatelor trebuie să aibă o rezistență climatică (v. fig. 1.26), rezistență la arc electric, rezistență la curenți de conturnare (curenți de fugă), stabilitate și neagresivitate chimică etc., corespunzătoare.

Căile de curent și piesele lor componente trebuie să reziste, timp îndelungat sau cel puțin o perioadă de timp după fiecare revizie (contacte mobile), la solicitările termice, mecanice și fizico-chimice analizate în cap. 1, în condițiile prescrise de STAS, NID și/sau CS. Pentru asigurarea acestor condiții, calea de curent a aparatului trebuie să aibă o rezistență ohmică de contact și cădere de tensiune între borne tolerabile și supratemperaturi admisibile, ca de exemplu cele trecute în tabelele 2.4 și 2.5.

Tabelul 2.4

Rezistențele ohmice de contact pe fază ale unor aparate de înaltă tensiune fabricate la IEP-Craiova

Aparatul	IUP—10M/630	IUP—10M/1000	IUP—20M/630	IUP-20M/1000	10—15/630	IUP-35/1250
R, mΩ	0,080	0,063	0,080	0,065	0,046	0,075
Aparatul	IUP-110/1250	IO-220 (0 cameră)	STIN-10 630	STIN-10/3150	STIN-20/630	Stin-20/1250
R, mΩ	0,085	0,050	0,035	0,013	0,045	0,025
Aparatul	STE-110/	SME-400 circuit principal	Cărucior celulă IO-15/1250	Celulă CII-2-10	(între borne) CII-1-10	
R, mΩ	0,065	0,017	0,015	0,050	0,025	

Tabelul 2.5

Supratemperaturile maxime admise la celule capsulate în hexafluorură de sulf (SF_6), în comparație cu cele din izolație de aer și de ulei

Denumirea materialului sau a piesei componente	Supratemperatura admisă, în °C. Felul materialului izolant adiacent: Aer	SF	Ulei
Îmbinări fixe cu șuruburi din: — cupru și aliaj de aluminiu negalvanizat	50	60	60
— cupru și aliaj de aluminiu argintat	65	65	60
Contacte mobile, arcuitoare din: — cupru negalvanizat	35	50	40
— cupru argintat	65	65	50
Anvelopa metalică din aluminiu sau oțel (părți accesibile pentru operator)	30	30	30

Eroziunea puntiformă şi uzura contactelor datorită arcului electric sau uzurilor mecanice trebuie să fie de asemenea în limite tolerabile. Contactul electric şi calea de curent în general trebuie să fie stabile (adică să aibă o rezistenţă de trecere practic constantă în timp şi în diferite condiţii de exploatare) la efectul supracurenţilor şi/sau al curenţilor de scurtcircuit (stabilitate termică şi dinamică). În aceste condiţii calea de curent nu trebuie să se deformeze, iar contactele să se lipească sau să se sudeze.

Dispozitivele şi mecanismele electromagnetice ale aparatelor (electromagneţi, bobine de acţionare, transformatoare de măsură înglobate etc.) trebuie să reziste, de asemenea timp îndelungat (cel puţin pentru perioada reviziilor sau reparaţiilor planificate) la toate solicitările electrice, termice, mecanice şi fizico-chimice menţionate în cap. 1 şi/sau cuprinse în STAS, NID sau CS. Pentru funcţionarea corectă a aparatului la valori prescrise ale tensiunii sau curentului, în timpul impus, este necesar ca circuitul magnetic să-şi păstreze nu numai curba de magnetizare, ci şi punctul de lucru pe această curbă (inducţie nominală, intensitatea nominală a cîmpului magnetic; inerţia electromagnetică). În afară de aceasta, circuitul magnetic nu trebuie să se încălzească peste prevederile iniţiale, adică pierderile datorită curenţilor Foucault şi datorită fenomenului histerezis trebuie să rămînă constante şi condiţiile de cedare a căldurii neschimbate. La circuite magnetice din tablă silicioasă, izolaţia dintre tole, pachete de tole şi izolaţia faţă de buloanele (centurile) de strîngere trebuie să reziste la vibraţiile şi şocurile care provin din transport, din funcţionarea normală sau anormală (de exemplu, în regim de scurtcircuit) a circuitului magnetic.

Mecanismele (de acţionare, de clichetare, de liberă desfacere etc.) aparatelor trebuie să aibă o rezistenţă mecanică şi stabilitate în timp, corespunzătoare. Lucrul mecanic de închidere, de deschidere sau de declichetare şi consumurile de energie electrică, de aer comprimat etc., a diferitelor dispozitive, în timpul exploatării îndelungate trebuie să asigure aparatelor respective caracteristici cinematice (curse, viteze, acceleraţii) şi de timp (de închidere, de deschidere etc.) practic constante, conform prevederilor iniţiale. În afară de acestea, mecanismul trebuie să aibă anduranţă mecanică corespunzătoare frecvenţei de conectare şi ciclului de operaţii (duratei de acţionare) prescris.

Dispozitivele de stingere, mai ales la aparatele de comutaţie de înaltă tensiune, trebuie să se comporte corespunzător în condiţiile arcului electric de putere, în condiţiile unui fenomen fizic de o complexitate deosebită, unde arcul atinge uneori şi 15 ... 20 000°C, iar parametrii lui variază, fără să se repete, cu o constantă de timp de cîţiva μs, fiind într-o dependenţă complicată cu caracteristicile staţionare şi tranzitorii ale circuitului electric. Această condiţie presupune lichidarea arcului electric într-un timp cît mai scurt, fără supratensiuni sau tensiuni tranzitorii de restabilire exagerate, fără uzura sau alterarea inadmisibilă a materialelor din camera de stingere şi din zona adiacentă şi fără manifestări exterioare (efecte acustice, luminoase, eşapări de gaze sau ulei şi vibraţii intolerabile).

Condiţiile tehnice, care definesc direct sau indirect calitatea aparatelor reprezintă un volum mare de informaţii privind:

— condiţii de mediu şi de climă;

— condiţii de instalaţie electrică (condiţii de reţea);

— condiții de montaj și de locul de amplasare;
— caracteristici tehnico-funcționale;
— metode de recepție (de încercare);
— modul de transport, de conservare, de deconservare, de montare, de punere în funcțiune;
— indicații pentru exploatare (prescripții), întreținere reglare și reparații.

Nomenclatura și volumul datelor cuprinse în aceste condiții diferă foarte mult între aparatele de joasă tensiune (ca de exemplu, intreruptoare automate, contactoare, demaroare magnetice, relee de comandă, relee intermediare, întreruptoare de sfîrșit de cursă, siguranțe fuzibile, pîrghii de acționare, comutatoare, electromagneți etc.) și de înaltă tensiune (întreruptoare, separatoare de sarcină, separatoare, bobine de reactanță, siguranțe fuzibile de înaltă tensiune, treceri izolate, suporturi izolante, descărcătoare, celule prefabricate etc.).

● În cele de mai sus au fost enumerate numai condiții generale, care se vor completa, în cele ce urmează în partea a doua, a treia și a patra a cărții, cu *condiții speciale* (strict necesare) impuse încercării aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune. Ținînd cont însă de volumul limitat al cărții se recomandă și studierea cu atenție a recomandărilor internaționale, standardelor naționale cuprinse parțial în bibliografie sau în anexe.

2.2. Conținutul informativ al buletinului (protocolului) de încercare

Varietatea extrem de mare a aparatelor electrice folosite în stațiile de distribuție de înaltă și de joasă tensiune implică buletine de încercare cu un cuprins foarte divers, în funcție de tipul, destinația specială sau particularitățile constructive ale aparatului probat. Buletinele de încercare, pe baza cărora se atestă (se omologhează) performanțele unui aparat, trebuie să conțină cel puțin următoarele capitole de bază, confirmate prin iscălituri:

— un capitol în care se definește cît se poate de exact aparatul supus la probe (capitol de identificare a obiectului de încercat, CIOI);

— un alt capitol în care se descriu condițiile de încercare (capitol de identificare a severității condițiilor de probă, CICP);

— partea principală a buletinului de încercare, conținînd rezultatele obținute la probe (capitolul de încercări propriu-zise, CIP);

— un alt capitol, cuprinzînd verificarea corespondenței aparatului cu condițiile impuse în documentațiile tehnice însoțitoare (capitolul de verificări CV);

— ultimul capitol, conținînd recapitularea concluziilor parțiale și concluzia generală, privind comportarea aparatului la diferite probe și corespondența lui la condițiile impuse prin documentațiile tehnice însoțitoare (CC).

● În CIOI se trece în mod obligatoriu denumirea, tipul, numărul de fabricație a aparatului, tipul dispozitivului de acționare, standardele și NID sau CS, care cuprind condițiile pe care trebuie să le satisfacă aparatul supus la probe, numărul desenului de ansamblu general și al desenului de gabarit, caracteristicile tehnice nominale, datele principale constructive și de exploatare garantate (distanțe de izolație minime, caracteristicile camerei de stingere a sistemului de contacte, a mecanismelor sau dispozitivelor electromagnetice etc.).

● În CICP se enumeră probele la care s-a supus aparatul, data (perioada) efectuării încercărilor, felul sursei (generator, transformator, rețea. schemă sintetică) de alimentare cu care s-au făcut încercările inclusiv schemele circuitelor primare și secundare (de comandă, măsură, control, protecție, și semnalizare), clasa de precizie a aparatelor de măsurat și de înregistrare utilizate, factorul de putere al sarcinii, duritatea conturului tensiunii de restabilire la aparatele de comutație etc.

● CIP cuprinde în formă de tabele datele prelucrate (metoda de prelucrare a datelor trebuie să fie conținută în buletin sau să existe referințe la ea în text), parte grafică (curbe, desene, oscilograme reprezentative și fotografii), rezultatele obținute la probe electrice, mecanice, termice sau de altă natură (de ex. verificarea gradului de protecție, etanșeității etc.) însoțite de texte explicative necesare interpretării corecte a datelor.

● CV cuprinde o serie de verificări care, spre exemplu, la un aparat de comutație ar trebui să conțină următoarele: control vizual al etichetei și al stării acoperirilor decorative-protectoare; verificarea dimensiunilor de gabarit și al distanțelor de izolație (inclusiv a lungimii liniei de fugă); verificarea stării și notației contactelor de racord și a contactelor de legare la pămînt; verificarea materialelor componente, principale; determinarea masei aparatului; verificarea existenței și corespondenței cu documentația tehnică a dispozitivelor de amortizare, de blocare, de zăvorîre, de liberă desfacere, de semnalizare, de protecție etc. La aparatele mai simple capitolele CIOI și CV pot fi comasate.

● CC trebuie să conțină aprecierile experimentatorului privind comportarea izolației, căilor de curent, dispozitivelor de stingere a arcului electric, mecanismelor de acționare, dispozitivelor sau mecanismelor electromagnetice, care fac parte din construcția aparatului, la probele efectuate și corespondența aparatului, luat în ansamblu, cu documentațiile tehnice însoțitoare și / sau reglementările în vigoare.

2.3. Nomenclatura încercărilor

La *întreprinderea constructoare*, aparatele electrice de înaltă și de joasă tensiune sînt supuse la următoarele încercări:

— încercări individuale, de control, de rutină, de bucată (I);

— încercări de lot (L);

— încercări de tip sau încercări în vederea omologării prototipului sau seriei zero (T);

— încercări speciale cu caracter de investigație pentru dezvoltarea fabricației (SF).

Încercările efectuate în *condițiile exploatării* (la locul de montaj în laboratoarele PRAM sau în stații de încercări din sistemul electroenergetic) asupra aparatelor electrice sînt următoarele:

— încercări de punere în funcțiune, care constau în verificarea stării aparatelor și a calității lucrărilor de montaj și de punere în funcțiune executate (PF);

— încercări profilactice sau preventive, care servesc la depistarea deteriorărilor (degradărilor) apărute în timpul și în condițiile exploatării (P);

— încercări pentru verificarea calității reparațiilor și / sau modernizărilor efectuate la aparate la locul de montaj sau în atelierul de specialitate ale utilizatorului (RM);

— încercări speciale pentru cercetarea comportării aparatelor în regimuri și scheme noi de funcționare în exploatare (SE).

Diferitele tipuri de aparate electrice de înaltă sau de joasă tensiune și subansamblurile lor principale se supun, la întreprinderea constructoare și în condițiile exploatării, la o serie de *încercări comune*, care nu diferă din punct de vedere calitativ de la aparat la aparat, ci numai prin volumul și complexitatea măsurărilor făcute.

În cele ce urmează (în partea a II-a a cărții) se descriu întocmai aceste metode, urmînd ca în partea a III-a, după o analiză globală a nomenclaturii de probe, să fie trecute în revistă *încercările specifice* ale fiecărui tip de aparat în parte.

Pentru ilustrarea acestei afirmații, în cele ce urmează, se dau ca exemplu încercările din întreprinderile constructoare și din exploatoarea a întreruptoarelor de înaltă tensiune.

Încercările izolației. Volumul și nomenclatura încercărilor pentru verificarea izolației întreruptoarelor depinde de felul întreruptorului. La schema de izolație a *întreruptoarelor cu ulei*, realizată din materiale organice și anorganice (din porțelan, din ulei mineral cu bariere din materiale organice etc.), izolația internă are rezerve foarte mari (circa 30...50%) față de izolația externă, în comparație cu tensiunile de ținere garantate. În condițiile exploatării, aceste rezerve ale izolației interne pot fi ușor pierdute, la întreruptoarele cu ulei mult datorită degradării treptate a uleiului din cauza descompunerii acestuia prin arc electric și datorită fenomenelor de oxidare, de polimerizare, de coagulare, de depolimerizare, de hidroliză și de evaporare care au loc în cuvă, reducînd în mod considerabil tensiunile de ținere și de conturnare-străpungere a izolației interne (mai ales pe ștăngile izolante și pe suprafața barierelor sau ecranelor).

Scurtcircuitele care pot apărea în interiorul cuvei, în cazul cînd nu se iau măsuri corespunzătoare în fabrică (coordonarea rațională a rezervelor de izolație) și în exploatare, reprezintă una din avariile cele mai grave posibile în sistemul electroenergetic.

Reducerea nivelului de ținere a izolației interne a acestor tipuri de întreruptoare se poate produce și datorită umezirii pieselor izolate, aflate în ulei. Umezeala este absorbită sau adsorbită de ulei cînd uleiul se încălzește și se depune pe suprafețele electroizolante cînd acesta se răcesc. Pentru ca acest fenomen fizic de degradare a izolației să se producă nu este necesară nici măcar conectarea întreruptorului în schemă.

Întreruptoarele care așteaptă montajul în depozite neîncălzite sînt amenințate de același fenomen de degradare treptată a proprietăților izolante, dacă variația temperaturii uleiului între zi și noapte este mare. Această umezire a uleiului și a pieselor scufundate în ulei, în con-

dițiile exploatării, este mult frînată, la întreruptoarele moderne, prin realizarea unor construcții cît se poate de etanșe (aparate capsulate) sau prin termostatarea uleiului.

Pentru evitarea sau prevenirea unor astfel de situații neplăcute, la acest tip de întreruptor se efectuează următoarele încercări :

● Încercarea izolatoarelor de porțelan (treceri izolate, suporturi izolante), care fac parte din construcția întreruptorului, la tensiunea sinusoidală, de frecvență industrială, timp de un minut și la impuls de tensiune, combinate eventual cu determinarea nivelului de descărcări parțiale, respectiv cu găsirea pragului de ionizare de impuls, care pot să scoată în evidență prezența sau apariția pe parcurs a unor fisuri interne, starea necorespunzătoare a suprafeței interioare sau exterioare a izolației. Tensiunea de încercare la această probă, efectuată în condițiile exploatării, nu trebuie să depășească 75% din tensiunea de ținere aplicată aparatului pe ștandul de probă a furnizorului.

● Determinarea repartiției tensiunii pe elementele componente ale izolatoarelor de porțelan (în special atunci cînd sursa de înaltă tensiune, care stă la dispoziție, are performanțe mai reduse) și încercarea acestor elemente cu tensiunile de frecvență industrială, de valoare corespunzătoare, care rezultă din repartiția neuniformă a tensiunilor. Evident că și această încercare poate fi completată prin măsurări speciale ale intensității cîmpului electric în zone mai solicitate, prin modelări pe hîrtie electroconductoare etc.

● Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice prin care, la obiecte de capacitate nu prea mare (treceri izolate tip condensator, stăngi izolante), se pot scoate în evidență ionizări accentuate sau degradarea uleiului etc., ca în cazul aparatului luat în ansamblu, în poziție deschisă și închisă.

● Ridicarea curbelor de variație a nivelului descărcărilor parțiale în funcție de tensiune și de timp.

● Măsurarea rezistenței de izolație a ștăngilor și a tijelor izolante, a trecerilor izolate tip condensator, a barierelor amplasate în ulei și a tijelor izolante amplasate în aer, combinată cu curățirea acestora.

● Încercarea uleiului din trecerile izolate și din cuvă „ca atare" și după un program de probe (analize) complet sau adecvat scopului.

La întreruptoarele cu aer sau cu gaz comprimat, comportarea izolației este amenințată de: condensarea umezelii pe suprafețele izolante interioare, de apariția unor fisuri în piesele de porțelan sau de steatită, de repartiția neuniformă a tensiunii tranzitorii sau de serviciu pe camerele de stingere datorită defectelor în condensatoarele sau rezistențele de șuntare sau datorită nesimultaneității de deschidere a contactelor etc.. Din aceste motive, la întreruptoarele cu aer comprimat sau cu gaze electronegative în plus față de încercările menționate mai sus se execută și următoarele probe:

● Verificarea calității aerului (gazului) comprimat care asigură izolația internă a întreruptorului și care împiedică condensarea umezelii pe suprafețele interioare ale izolatoarelor de porțelan sau de steatită (aerisirea), acordînd atenție deosebită conținutului de umezeală.

● Izolația externă a tuturor tipurilor de întreruptoare, care funcționează în zone poluate, este supusă periodic la probe în vederea determinării curenților de fugă (de conducție) pe suprafața suporturilor izolante, a ancorelor izolante, a trecerilor izolate și a izolatoarelor camerelor de stingere, combinate cu curățirea acestora și cu controlul conductivității stratului poluant de pe suprafața izolatoarelor.

Comportarea izolației întreruptoarelor fiind substanțial influențată de starea sistemului de etanșare, programul de verificare a izolației din exploatare trebuie completat cu: verificarea neetanșeităților constructive prin depistarea locurilor de scurgere a uleiului sau de scăpare a aerului (gazului) comprimat, examinarea atentă a locurilor de armare a izolatoarelor etc.

Încercările căilor de curent. Verificarea stării căii de curent a întreruptoarelor presupune efectuarea următoarelor încercări:

— determinarea căderii de tensiune pe faza întreruptorului sau, dacă este posibil, chiar pe porțiuni componente;

— măsurarea rezistențelor de trecere (de stricțiune) ale contactelor și a rezistențelor ohmice pe fază;

— încercarea la încălzire a pieselor din calea de curent la curentul nominal al întreruptorului;

— verificarea stabilitaţii termice şi dinamice a căii de curent;

— verificarea stării suprafeţei de legare la pămînt a scheletului metalic al întreruptorului şi al dispozitivului de acţionare, completată cu examinarea conductorului de legare la pămînt.

În exploatare;

— măsurarea presiunilor pe contactele principale şi pe cele auxiliare (microcontacte),

Încercările circuitelor magnetice şi ale bobinelor. Circuitele magnetice din construcţia întreruptoarelor şi a dispozitivelor de acţionare sînt folosite în scopuri multiple: pentru suflarea arcului electric, pentru repartizarea uniformă a curenţilor în ramurile paralele ale căii de curent (de ex. la IO—15/2500), pentru protecţia la întreruptoare cu relee primare, pentru măsură şi protecţie la întreruptoarele cu transformatoarele de curent montate direct pe trecerile izolate şi pentru acţionare.

În funcţie de aceste utilizări diverse, încercările vor fi foarte variate, conţinînd următoarele probe:

— verificarea funcţională a electromagneţilor la tensiunea minimă şi maximă sau la curenţi diverşi (la relee de curent primare şi la electromagneţii folosiţi în schemele de protecţie directă, mergînd chiar pînă la ridicarea caracteristicii de protecţie);

— măsurarea rezistenţei ohmice a bobinelor cu tensiune continuă şi controlul rezistenţei de izolare a acestora faţă de corp şi una faţă de cealaltă;

— determinarea pierderilor în fier şi separarea lor în pierderi datorită curenţilor turbionari şi datorită ciclului histerezis;

— măsurarea consumului de energie activă şi reactivă a mecanismelor şi dispozitivelor electromagnetice din construcţia întreruptorului, necesare realizării în circuitul magnetic al fluxului util impus;

— determinarea inducţiei magnetice în piesele magnetice şi nemagnetice;

— verificarea polarităţii şi a raportului de transformare a înfăşurărilor transformatoarelor de măsură înglobate în construcţia întreruptoarelor.

Încercările mecanismelor de acţionare. Mecanismul de acţionare a întreruptoarelor şi a dispozitivelor de acţionare în condiţiile fabricii constructoare şi ale exploatării se supun, la următoarele încercări:

— examinarea vizuală a articulaţiilor şi a modului de ungere a lor cu vaselină tehnică;

— ridicarea curbei vitezei de deplasare a contactelor în funcţie de cursa liniară a contactelor şi cursa unghiulară a axului motor, atît la închiderea, cît şi la deschiderea întreruptorului;

— măsurarea forţelor antagoniste (a cuplului antagonist rezultant) statice, care acţionează la închiderea lentă (statică) a întreruptorului;

— determinarea lucrului mecanic al dispozitivelor de acţionare la închiderea lentă a întreruptorului (lucrul mecanic static) şi la închiderea acestuia în regim dinamic pe scurtcircuit (lucru mecanic dinamic maxim de închidere);

— verificarea simultaneităţii la închiderea şi deschiderea contactelor din fazele vecine sau de pe aceeaşi fază (în cazul întreruperii multiple);

— determinarea lucrului mecanic de declichetare a dispozitivelor de acţionare la deschiderea întreruptorului;

— determinarea caracteristicilor de timp ale întreruptoarelor şi ale dispozitivelor de acţionare;

— verificarea mecanismului de acţionare a întreruptoarelor şi al dispozitivului de acţionare la anduranţă (manevre repetate comandate de la distanţă) mecanică;

— măsurarea consumurilor de energie electrică, hidraulică şi de aer sau gaz comprimat, necesare efectuării operaţiilor de închidere, de deschidere şi de ciclu nominal D—ID—ID.

Încercările dispozitivelor de stingere a arcului electric. Încercările ce se pot realiza în condiţiile întreprinderii constructoare şi ale exploatării pentru verificarea dispozitivelor de stingere sînt următoarele:

— verificarea capacităţii de comutaţie la curenţi mici capacitivi (linii sau cabluri în gol) sau verificarea capacităţii de comutaţie în regim capacitiv (baterii de condensatoare);

— verificarea capacităţii de comutaţie la deconectarea transformatoarelor de mare putere în gol sau la curenţi mici inductivi;

— verificarea capacității de comutație în regimul defectului kilometric și al defectului evolutiv;

— verificarea capacității de comutație la deconectarea scurtcircuitelor de pe bornele întreruptoarelor;

— verificarea capacității de comutație în regimul discordanței de fază;

— verificarea capacității de închidere a întreruptorului în scurtcircuit;

— verificarea camerelor de stingere la deconectarea curenților critici, la curenți de sarcină și în domeniul supracurenților;

— verificarea la anduranță electrică a sistemului de contacte și a camerelor de stingere.

În cadrul încercărilor menționate la acest punct, în funcție de caracterul probei se execută o serie de măsurări speciale, ca de exemplu: măsurarea curenților în regim cvasistaționar, tranzitoriu și în vecinătatea trecerii prin zero (curenți post-arc;); măsurarea tensiunilor în regimuri cvasistaționare și tranzitorii (tensiune tranzitorie de restabilire) și în special, variația acesteia în primele microsecunde după stingerea arcului electric (tensiunea tranzitorie de restabilire inițială, TTRI); măsurarea puterii și energiei disipate în arcul electric; măsurarea presiunii în camera de stingere; verificarea rezistențelor și capacităților de șuntare a camerelor de stingere etc..

Încercarea ansamblului. Volumul și nomenclatura acestor încercări pot să fie de asemenea foarte variate, cuprinzînd printre altele următoarele probe:

— verificarea gradului de protecție contra atiingerii pieselor sub tensiune și contra pătrunderii umezelii;

— verificarea rezistenței în anumite condiții climatice;

— verificarea rezistenței în medii explozive;

— verificarea la șocuri și vibrații etc.

În afară de încercările menționate anterior, experimentatorului îi revine sarcina ca înaintea sau în timpul probelor să întreprindă un volum foarte mare de lucrări, ca de exemplu: să controleze nivelul uleiului, presiunea aerului de aerisire, integritatea și starea suprafeței izolatoarelor; să observe urmele de funingine sau de ulei expandate din camera de stingere; să verifice stringerea pieselor de fixare și prezența pieselor de asigurare pe arborele-motor și în lanțul cinematic al dispozitivelor de acționare; să regleze extremitățile curselor de închidere și de deschidere a contactului mobil și să remarce poziția corectă sau incorectă a indicatorului de poziție; să urmărească dacă orificiile de evacuare ale gazelor sînt libere, astupate sau murdărite; să studieze și să evalueze intensitatea fenomenelor de coroziune și de eroziune; să supravegheze efluviile în timpul încercărilor, în condiții de obscuritate; să regleze termostatul pentru a asigura temperatura apropiată de cea de referință; să curețe suprafețele de contact și a camerelor de stingere, dacă acest lucru se consideră necesar pentru continuarea probelor; — să repare armarea izolatoarelor care datorită vibrațiilor s-a distrus etc.

Încercările enumerate mai sus reprezintă numai un exemplu incomplet al încercărilor întreruptoarelor de înaltă tensiune. La alte tipuri de aparate, volumul și nomenclatura încercărilor se stabilesc în mod analog, ținînd cont de particularitățile constructive ale fiecăruia.

Încercările menționate se pot împărți în două mari categorii: în *încercări distructive* (ca de exemplu: încercarea izolației cu tensiune înaltă sinusoidală sau de impuls, încercări de verificare a stabilității termice și dinamice, încercări de verificare a capacității de comutație etc.) și *încercări nedistructive* (încercările izolației cu tensiune înaltă continuă, determinarea nivelului de descărcări parțiale, măsurarea caracteristicilor cinematice și de timp etc.).

Încercările distructive, sînt cele mai concludente probe, după care se pot lua decizii clare dacă aparatul poate fi omologat pentru fabricație de serie (la fabrica constructoare) sau poate fi menținut încă în funcțiune (în condițiile exploatării).

Încercările nedistructive în schimb (și în special cele referitoare la starea izolației) uneori dau loc la discuții și interpretări echivoce.

Primul gen de încercări reprezintă un risc mai mare, dar activitate în general mai redusă în timp, iar cel de al doilea gen de încercări un risc mai mic și activitate profilactică mai intensă (mai îndelungată).

Atestarea calității și mai ales a fiabilității aparatelor electrice pe baza acestor încercări depinde însă de metodele și schemele de încercare concrete utilizate. În cele ce urmează se expun principalele metode și scheme de încercări comune practicate în întreprinderea constructoare și în condițiile exploatării la atestarea calității și fiabilității aparatelor electrice de înaltă și joasă tensiune.

II

Încercări comune ale aparatelor electrice

3. Încercarea izolației aparatelor

Izolația aparatelor electrice în condițiile fabricii constructoare și în condițiile exploatării se încearcă conform standardelor naționale și recomandărilor internaționale, cu:

— tensiune continuă (redresată);
— tensiune alternativă (sinusoidală);
— tensiune de impuls (cu unde normalizate pentru reproducerea efectului supratensiunilor atmosferice și a supratensiunilor de comutație).

Metodele, schemele și aparatele de verificare a izolației cu aceste trei tipuri de tensiuni au ca scop principal verificarea performanțelor inițiale (la constructor) sau depistarea defectelor incipiente în diferite construcții izolante (la utilizator), pentru luarea de măsuri tehnice și organizatorice în timp util, fie în vederea remedierii defectului de izolație, fie cu scopul încetinirii procesului de degradare progresivă a izolației. Nomenclatura probelor, la care este supusă izolația aparatelor electrice, mai ales a celor de înaltă tensiune, este foarte vastă (precum rezultă și din tabelul 3.1.) și se află în curs de completare cu încercări noi la solicitări combinate.

3.1. Încercări cu tensiune continuă

Fenomenul de degradare a izolației la început avansează foarte încet și numai în stadiul final variază rapid, terminîndu-se cu o străpungere sau o conturnare spectaculoasă. Metodele și schemele bazate pe utilizarea înaltei tensiuni continue, analizate mai jos, au ca scop tocmai sesizarea acestui proces de degradare lentă a izolației, evidențierea locurilor slabe dintr-o construcție izolantă, elaborarea unor metode de eliminare a defecțiunilor incipiente și totodată, întocmirea unor condiții tehnice (caiete de sarcini) mai bine puse la punct pe baza experienței de exploatare cîștigată [1, 30, 58 etc.]. Condițiile

Tabelul 3.1

Nomenclatura principalelor încercări ale izolației aparatelor electrice de înaltă tensiune

Nr. crt.	Obiectul de încercat / Denumirea probei (măsurării)	Întreruptoare separatoare	Descărcătoare, eclatoare de protecție	Celule prefabricate, celule capsulate	Transformatoare de curent	Transformatoare de tensiune	Bobine de reactanță	Siguranțe fuzibile	Condensatoare	Treceri izolate, suporturi izolante
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	*Încercări cu tensiune continuă (redresată)*									
1.1*	Măsurarea rezistenței de izolație	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.2*	Determinarea coeficientului de absorbție și/sau indicelui de polarizare	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.3*	Ridicarea curbei de variație a curentului absorbit în funcție de timp, la U_a = const	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.4*	Ridicarea curbei de variație a curentului absorbit în funcție de tensiunea aplicată, la t = const	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.5*	Ridicarea curbei de variație a tensiunii de autodescărcare în funcție de timp, la $U_a = U_0$	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.6*	Ridicarea curbei de variație a tensiunii de revenire în funcție de timp, la $U_a = U_0$	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.7*	Determinarea factorului de dispersie	—	—	×	×	×	×	—	×	—
1.8	Aplicarea tensiunii de încercare de c.c. (dacă există)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
1.9	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere de c.c.	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	*Încercări cu tensiune sinusoidală (alternativă)*									
2.1*	Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice (tgδ) și a capacității (permitivității) izolației	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2.2*	Detectarea nivelului de descărcări parțiale și a perturbațiilor radioelectrice	×	×	×	×	×	×	—	×	×
2.3	Aplicarea tensiunii de încercare (1 min)	×	×	×	×	×	×	×	—	×
2.4	Determinarea tensiunii de conturnare în stare uscată	×	×	×	×	×	×	×	—	×
2.5	Determinarea tensiunii de conturnare în stare umedă (sub ploaie artificială)	×	×	×	×	×	×	×	—	×

Tabelul 3.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.6	Determinarea tensiunii de străpungere	×	×	×	×	×	×	×	—	×
2.7	Determinarea tensiunii de amorsare	—	×	—	—	—	—	—	—	—
2.8*	Măsurarea curentului de fugă, de conducție	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2.9	Încercări de anduranță electrică la solicitări combinate electromecanice (la tensiune înaltă și forță portantă)	×	×	—	×	×	×	—	—	×
2.10	Idem la solicitări combinate electrotermice, în regim de îmbătrînire accelerată (la tensiune și temperatură înalte)	×	—	×	×	×	×	—	×	×
2.11	Idem, la solicitări combinate, electrice și climatice (umezeală, temperatură, praf etc.)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.	*Încercări cu tensiune de impuls*									
3.1.*	Ridicarea repartiției de tensiune la impuls	×	×	—	—	×	×	—	—	—
3.2*	Detectarea pragului de ionizare	×	—	×	×	×	×	—	×	×
3.3	Aplicarea tensiunii de încercare, undă plină, 1,2/50 μs (STA)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.4	Idem, undă tăiată (pe front și /sau pe spate)	—	—	—	—	×	×	—	—	—
3.5	Aplicarea tensiunii de încercare, undă aperiodică a supratensiunilor de comutație (STC_1), de 250/2500 μs	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.6	Aplicarea tensiunii de încercare, undă oscilantă a supratensiunilor de comutație (STC_2)	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.7	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere minime la STA	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.8	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere 50% amorsări la STA	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.9	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere 100% amorsări la STA	—	×	—	—	—	—	—	—	—
3.10	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere minime la STC_1 și STC_2	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.11	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere de 50% amorsări la STC_1 și STC_2	×	×	×	×	×	×	×	×	×
3.12	Determinarea tensiunii de conturnare-străpungere de 100% amorsări la STC_1 și STC_2	—	×	—	—	—	—	—	—	—
3.13	Ridicarea caracteristicii volt-secundă (tensiune-timp) a izolației	×	×	×	×	×	×	×	×	×

Observație : Probele notate cu * sînt încercări nedistructive.

tehnice astfel elaborate pot să fie mai utile pentru constructorul echipamentului electric la acțiunea de perfecționare a produselor. La aplicarea unei tensiuni continue (redresate) pe bornele unei construcții izolante, curentul total debitat de sursă se divide în cele trei componente analizate la cap. 1 (fig. 3.1).

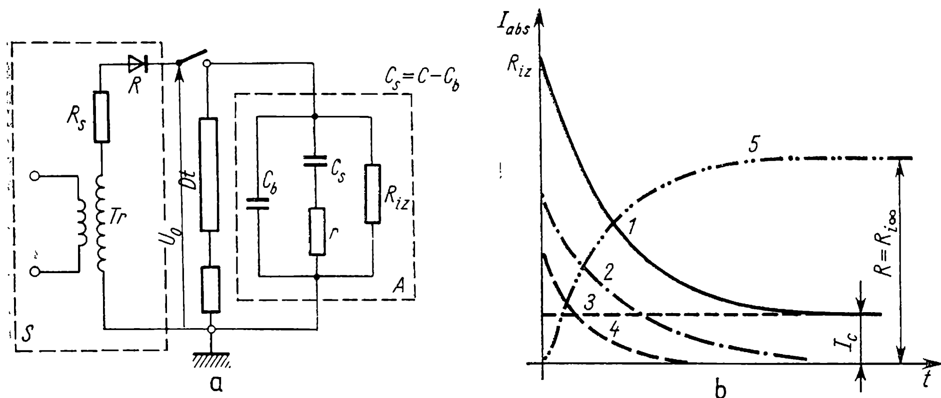


Fig. 3.1. Schema echivalentă a încercării izolației *A* a aparatelor electrice (*a*) și variația în timp a celor trei componente ale curentului debitat de sursa de înaltă tensiune continuă (redresată) în dielectric (*b*):

1 — curentul total prin dielectric; *2* — curentul de absorbție (de polarizare); *3* — curentul de scurgere (scăpări) în curent continuu; *4* — curentul capacitiv (de încărcare); *5* — rezistența de izolație.

Valorile și caracterul de variație ale acestor componente determină starea izolației aparatului electric *A* încercat în schema din fig. 3.1, *a* la tensiune continuă.

Valoarea maximă a curentului capacitiv și variația lui în timp sînt determinate în acest caz prin relația (1.2), în care constanta de timp $R_\Sigma C$ joacă un rol important în desfășurarea probei.

Astfel, de exemplu, în cazul unei surse de tensiune redresată, cu o rezistență $R_\Sigma = 100\,000\ \Omega$ și o construcție izolantă avînd $C = 1\ \mu F$, constanta de timp de încărcare a izolației va fi $100\,000 \times 1 \cdot 10^{-6} = 0{,}1$ s. În acest caz dielectricul, din punct de vedere teoretic, poate fi considerat complet încărcat în 0,5 s. Din cauza unor pierderi de curent în circuite paralele (de exemplu în circuitul de măsurare a tensiunii) și din cauza randamentului scăzut al redresoarelor la curenți mici, precum și datorită altor pierderi din schemă, durata încărcării poate fi socotită cu rezerve la valoarea 1 ... 2 s/ μF. Rezultă că la majoritatea aparatelor electrice (cu excepția condensatoarelor de putere și a bobinelor de compensare) fenomenul de încărcare se termină într-un timp mai scurt decît 1 s. În general, cînd tensiunea continuă crește treptat, de la zero, atunci condițiile de încercare (raportul dintre parametrii caracteristici ai sursei și ai obiectului de încercat)sînt satisfăcătoare din punct pe vedere tehnic și economic (instalația nu costă prea scump), dacă la probă se obține 10 mAs/kVμF. Sursele destinate încercării izolației aparatelor electrice, care satisfac această condiție, pot să încarce într-un timp destul de scurt (care nu deranjează pe experimentator și nu compromite nici experiența) dielectricul respectiv, fără costuri descurajante ale instalației experimentale.

Valoarea maximă şi modul de variaţie a curentului de absorbţie (de polarizare) este determinată de expresia empirică (1.3). Din punct de vedere al experienţei de depistare a stării izolaţiei după schema din fig. 3.1, polarizarea rapidă nu joacă nici un rol, deoarece se petrece în cîteva microsecunde. În schimb, valoarea şi caracterul variaţiei curentului de polarizare lentă, datorită căruia chiar după încărcare dielectricul continuă să absoarbă un curent (curent de polarizare care scade în timp după legea exponenţială), este un indiciu foarte important al stării izolaţiei şi în special al conţinutului de umezeală, ţinînd cont de faptul, că apa este cel mai reprezentativ dielectric constituit din dipoli (după care urmează spirtul, sticla etc.) în cîmp electric.

Datorită acestui proces suplimentar de încărcare a dielectricului a fost introdusă în schemă (fig. 3.1) capacitatea $[C = C_b + (C - C_b) = C_b + C_s]$ care se asociază cu sarcina electrică totală acumulată pe electrozii construcţiei izolante după terminarea fenomenului de polarizare, unde C_s este capacitatea suplimentară, care apare datorită polarizării lente şi C_b — capacitatea în primul moment al aplicării tensiunii.

Fenomenul de polarizare a dielectricului, spre deosebire de fenomenul de încărcare, poate să dureze mai mult (minute), atît la aplicarea tensiunii înalte (la încărcarea dielectricului) cît şi la autodescărcarea dielectricului (formula 1.4). Datorită acestui fenomen, după o scurtcircuitare de scurtă durată a izolaţiei în prealabil încărcate, tensiunea poate să apară pe borne (tensiunea de revenire) după o lege de variaţie influenţată în mare măsură de starea izolaţiei respective.

Valoarea curentului de conducţie (de scurgere, de pierderi) prin dielectric se determină pe baza legii lui Ohm după relaţia (1.8). Mărimea acestui curent însă nu este o indicaţie certă pentru determinarea stării izolaţiei. În unele cazuri, chiar cîţiva microamperi pot să reprezinte pericol de avarie, pe cînd în alte cazuri chiar şi cîţiva miliamperi pot fi admişi.

Ţinînd cont de particularităţile menţionate ale fenomenului fizic, pentru investigarea stării izolaţiei aparatelor electrice de regulă se măsoară mărimile sau se ridică curbele următoare:

— valoarea stabilizată a rezistenţei de izolaţie $R_{iz\infty}$;

— coeficientul de absorbţie R_{60}/R_{15}, adică raportul rezistenţei de izolaţie după 60 s faţă de aceeaşi rezistenţă la 15 s după aplicarea tensiunii înalte continue (metodă practicată în URSS şi România);

— indicele de polarizare R_{10}/R_1, adică raportul rezistenţei de izolaţie după 10 min faţă de aceeaşi rezistenţă la 1 min după aplicarea tensiunii înalte continue (metodă practicată în SUA);

— variaţia rezistenţei de izolaţie şi a curentului total absorbit în funcţie de timp şi de tensiune,

$$R_{iz} = f_1(t), \text{ pentru } U = \text{const};$$

$$i = i_c + i_a + i_{Ri} = f_2(t), \text{ pentru } U = \text{const};$$

$$R_{iz} = f_3(U), \text{ pentru } t = \text{const};$$

$$i = i_c + i_a + i_{Ri} = f_4(U), \text{ pentru } t = \text{const};$$

$U_d = f_5(t)$ — adică variaţia tensiunii pe bornele construcţiei izolante la autodescărcarea izolaţiei în prealabil încărcate;

$U_r = f_6(t)$ — adică variația tensiunii de revenire după scurtcircuitarea de scurtă durată a bornelor construcției izolante în prealabil încărcate;

k_D — factorul de dispersie, $k_D = \frac{C_s}{C_b}$.

3.1.1. Măsurarea rezistenței de izolație și determinarea factorului de absorbție sau a indicelui de polarizare

Rezistența de izolație, factorul de absorbție și indicele de polarizare se măsoară cu megohmmetrul (fig. 3.2), prin metoda voltmetrului și ampermetrului (după indicația cărora se calculează raportul dintre tensiunea continuă aplicată între electrozi și curentul total absorbit de dielectric) sau prin metoda punții (fig. 3.3). Prin aceleași metode și aparate se măsoară și rezistența neliniară a descărcătoarelor (care poate să atingă sute și mii de megohmi).

La măsurarea rezistenței de izolație a aparatelor electrice de înaltă tensiune se preferă utilizarea megohmmetrelor de tensiuni mai ridicate, 2500 ...

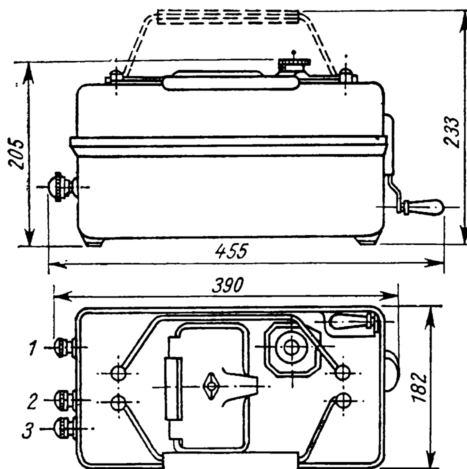


Fig. 3.2. Megohmmetrul sovietic de tipul lui MS-05, de 2500 V, cu domeniul de măsurare pînă la 10 000 MΩ, avînd precizia de circa 2%: *1* — borna de linie; *2* — borna „ecran"; *3* — borna „pămînt".

5000 V, cu domeniul de măsurare pînă la 100 000 MΩ și dacă este posibil, antrenate cu servomotor.

Rezistența de izolație a aparatelor de joasă tensiune se poate măsura cu megohmmetre de 500 ... 1000 V.

Principalul dezavantaj al megohmmetrelor de înaltă tensiune, folosite în mod curent și de mult timp la măsurarea rezistenței de izolație a apara-

telor electrice în exploatare, constă în precizia redusă a măsurărilor la obiecte cu capacitatea considerabilă (condensatoare de compensație și de îmbunătățire a factorului de putere etc.) sau rezistență de izolație foarte mare (întreruptoare, separatoare etc.) datorită scării lor neliniare și datorită vibrațiilor acului indicator la rotirea manuală, neuniformă, a inductorului.

Măsurarea rezistenței de izolație față de masă se efectuează cu borna de linie a megohmmetrului legată de calea de curent, iar borna de pămînt la scheletul metalic al aparatelor.

La măsurarea rezistenței de izolație a unei înfășurări față de cealaltă, borna de linie a instrumentului se racordează la una, iar borna de pămînt la cealaltă înfășurare, scheletul metalic al aparatului conectîndu-se la borna „ecran" a megohmmetrului. Pentru eliminarea erorilor datorate pierderilor de curent prin izolația care se conectează între borna de ecran și borna de linie (sau de pămînt), se fac în prealabil două măsurări a rezistenței de izolație a celor două înfășurări față de pămînt, iar între borna de linie și borna de ecran se conectează acea izolație care are rezistență de izolație mai mare.

La măsurarea rezistențelor de izolație mai mici, viteza de rotație a manivelei megohmmetrului trebuie redusă în vederea evitării supraîncărcării termice a aparatului. La măsurarea rezistențelor de izolație a aparatelor cu capacitate proprie mare, manivela trebuie rotită ceva mai rapid decît normal (120 rot/min) pentru eliminarea instabilității acului indicator, iar citirea se face după stabilizarea acestuia (circa după 30 ... 40 s).

Datorită sistemului de lucru greoi, megohmmetrele cu manivelă sînt eliminate treptat de ohmmetrele compuse din surse proprii de alimentare (baterie de acumulatoare Fe-Ni), sursă de înaltă tensiune cu impedanță internă cît mai mică și aparate de măsurare directă a rezistenței de izolație pînă la 100 000 MΩ, la 5 kV (fig. 3.3).

Valoarea rezistenței de izolație la un aparat depinde de materialul, de volumul, de caracteristicile constructive ale izolației, de valoarea tensiunii aplicate, de durata aplicării acestei tensiuni (uneori pentru stabilizarea completă sînt necesare ore), de încărcarea electrostatică (tensiuni remanente),

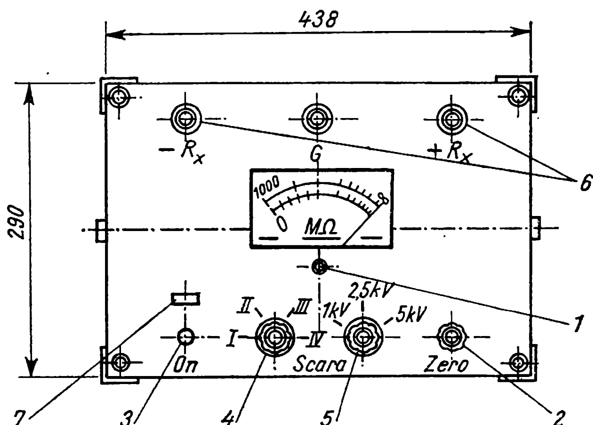


Fig. 3.3. Aparat de măsurat rezistența de izolație de tipul XS-1, fabricat în R.P.U., care măsoară rezistențele de izolație pînă la 100 000 MΩ, la 5 kV cu o precizie de 2,5% (cu o încărcare a bateriei se pot executa între 700 și 1 200 măsurări):

1 — reglajul mecanic al poziției de zero a acului indicator; *2* — reglajul electric al punctului de zero; *3* — întreruptor; *4* — comutator de alegere a celor patru domenii de măsurare (5, 1000, 10 000, 100 000 MΩ); *5* — comutator de alegere a celor trei tensiuni de măsurare (1; 2,5 și 5 kV); *6* — borna de racord a izolației; *7* — lampa de semnalizare a stării de funcționare a bateriei.

de temperatură şi de defecţiunile intrinseci (printre care şi umezirea) ale izolaţiei. Astfel, de exemplu, la aplicarea unei tensiuni redresate de 20 kV, în cazul separatoarelor de 6 ... 10 kV, curentul de conducţie nu depăşeşte, de obicei 60 μA, iar rezistenţa de izolaţie trebuie să fie mai mare de 300 MΩ. La aparatele de 35 kV, aplicînd o tensiune redresată de 30 kV, valorile menţionate mai sus vor fi de circa 30 μA, respectiv 1000 MΩ.

Influenţa *valorii tensiunii aplicate* este ilustrată în fig. 3.4.

Din figură se vede că la valori mici ale tensiunii, rezistenţa de izolaţie prezintă o uşoară tendinţă de creştere. De la o anumită valoare critică U_{cr},

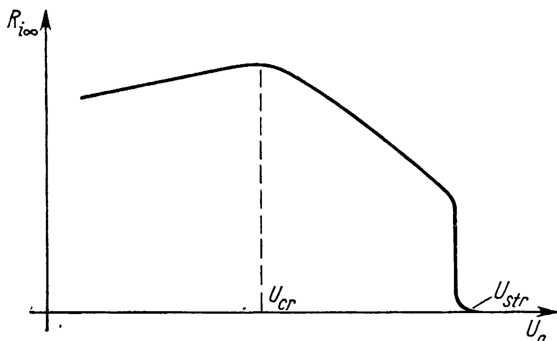


Fig. 3.4. Variaţia rezistenţei de izolaţie $R_{i\infty}$ în funcţie de tensiunea aplicată dielectricului U_a:
U_{cr} — tensiunea critică; U_{str} — tensiunea de străpungere a izolaţiei în c.c.

rezistenţa de izolaţie începe să scadă cu creşterea tensiunii, iar la tensiunea de străpungere U_{st}, valoarea ei scade brusc la zero.

Pentru ca măsurarea să fie practic independentă de valoarea tensiunii de încercare, proba trebuie să fie efectuată la tensiuni mai mici decît tensiunea critică. Evident că aceste condiţii se referă în primul rînd la izolaţia aparatelor electrice de joasă tensiune şi la circuitele secundare (izolaţia circuitelor de tensiuni joase la dispozitive de acţionare, izolaţia înfăşurărilor secundare la transformatoarele de măsură etc.) ale aparatelor electrice de înaltă tensiune.

Durata aplicării tensiunii influenţează valoarea rezistenţei de izolaţie datorită fenomenului de polarizare şi datorită încălzirii dielectricului din cauza curentului de conducţie, amîndouă fiind influenţate de starea (gradul de umezire) dielectricului. Din acest motiv, se recomandă completarea încercării cu ridicarea curbei de absorbţie sau de polarizare $R_{iz} = f(t)$, sau cel puţin cu măsurarea coeficientului de absorbţie sau a indicelui de polarizare.

Încărcarea electrostatică a izolaţiei (sarcini remanente) poate aduce confuzii suplimentare în interpretarea măsurărilor. Din acest motiv este necesar ca înaintea efectuării fiecărei încercări ambele borne ale construcţiei izolante să fie legate la pămînt pentru cîteva minute (în funcţie de capacitatea obiectului de încercat şi de sarcina remanentă).

Rezistenţa de izolaţie variază invers proporţional cu *temperatura*. Pentru compararea rezistenţelor de izolaţie măsurate în condiţii diferite, acestea se recalculează la o temperatură de referinţă. Coeficienţii de recalculare ai rezistenţei de izolaţie cu temperatura depind de natura fiecărei construcţii izolante, motiv pentru care pe platformele de încercare a fabricii constructoare sau în exploatare, se recomandă ridicarea curbei de corecţie pentru fiecare aparat în parte, prin măsurarea rezistenţei de izolaţie cel puţin la trei valori diferite ale temperaturii de regim cuprinse între 20° şi 75°C. Valorile de referinţă (de recalculare) ale rezistenţei de izolaţie, într-un caz concret al măsurărilor, se pot obţine prin interpolarea sau extrapolarea, de preferinţă grafică, a acestor date pentru temperatura dorită.

Trebuie menţionat că limita superioară a sensibilităţii de măsurare a rezistenţei de izolaţie, la o tensiune dată a sursei, depinde de domeniul de măsurare inferior al microampermetrului. Astfel, de exemplu, la o instalaţie de încercare cu un microampermetru, a cărui gamă inferioară de măsurare este de 0 ... 50 μA, pentru o diviziune de 1 μA, la început de scară, la 1000 V va corespunde o sensibilitate de măsurare a rezistenţei de izolaţie de 1000 MΩ. Precizia măsurării evident va fi în acest caz destul de mică, dar avînd în vedere faptul că rezistenţa de izolaţie reprezintă o caracteristică mai mult calitativă (comparativă) decît cantitativă, în practică se admit erori pînă la 20%.

În condiţiile de măsurare descrise mai sus izolaţia umezită sau murdărită se depistează, de regulă, prin următoarele criterii de defectoscopie nedistructivă:

— prăbuşirea neaşteptată a rezistenţei de izolaţie datorită formării unor punţi conductive (carbonizare, străpungerea parţială sau totală a izolaţiei);

— creşterea mai lentă a rezistenţei de izolaţie în timp, $R_{iz} = f(t)$, datorită umezirii izolaţiei;

— micşorarea coeficientului de absorbţie sub valoarea 1,3;

— micşorarea indicelui de polarizare sub valoarea 2.

Trebuie remarcat însă că diagnosticarea izolaţiei pe baza coeficientului de absorbţie, a indicelui de polarizare sau a rezistenţei de izolaţie propriu-zise nu se recomandă să se facă pe baza valorilor absolute, ci prin compararea acestor date cu alte date obţinute, la aceeaşi construcţie izolantă, pe platforma de încercare a fabricii constructoare sau în cadrul încercărilor profilactice (sau de punere în funcţiune) anterioare.

Deseori se întîmplă că rezistenţele de izolaţie ale aparatelor din aceeaşi serie de fabricaţie se deosebesc cu un ordin de mărime între ele şi totuşi ele se comportă bine la încercările distructive concludente, succesive. Nu prezintă garanţii suficiente nici rezistenţele de izolaţie de valori ridicate în cazul izolaţiilor cu incluziuni gazoase. Aceste incluziuni practic n-au nici-o influenţă asupra valorii rezistenţei de izolaţie, în schimb reduc substanţial valoarea tensiunii de străpungere. Evident, că, în cazul cînd în timpul aplicării tensiunii, rezistenţa de izolaţie scade în loc să crească sau are valori de cîteva ordine de mărime mai mici decît cele uzuale, atunci starea izolaţiei nu mai este corespunzătoare pentru menţinerea aparatului în continuare în exploatare.

3.1.2. Ridicarea curbelor de absorbție

Curbele de absorbție de tipul funcțiilor:

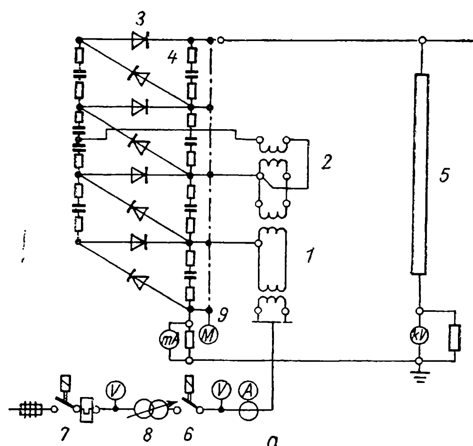
$$R_{iz} = f_1(t) \text{ și } i = f_2(t), \text{ la } U = \text{const}$$

și

$$R_{iz} = f_3(U) \text{ și } i = f_4(U), \text{ la } t = \text{const}$$

aduc lămuriri suplimentare dacă aparatul încercat poate să fie lăsat în schemă sau trebuie înlocuit și reparat, ori poate fi menținut în continuare în exploatare, dar uscat. Aceste măsurări se realizează cu o sursă de tensiune înaltă, redresată (fig. 3.5), de preferință mobilă, curentul fiind măsurat cu un microampermetru, tensiunea cu un kilovoltmetru și timpul cu un secundometru.

Laboratorul mobil tip LM-2, echipat de ICEMENERG, poate să fie util în acest scop, în special la cercetarea stării izolației aparatelor electrice de medie tensiune (la 90 kV și maximum 100 mA).



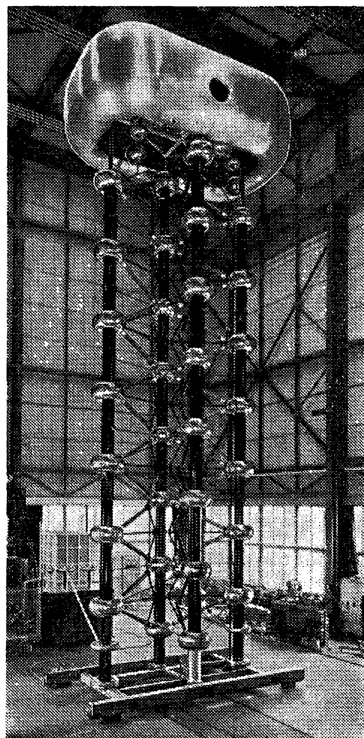


Fig. 3.5. Schema de principiu a unor instalații de înaltă tensiune continuă, fabricate în R.D.G., de TUR-Drezda, care acoperă tensiuni de la 125 pînă la 1350 kV și curenți de la 30 pînă la 1 000 mA (*a*) și instalația fabricată de firma Haefely din Elveția, de 2 000 kV (*b*):

1 — transformator de izolare; *2* — transformator de înaltă tensiune; *3* — redresor uscat; *4* — condensator cu rezistență de amortizare; *5* — divizor ohmic (rezistență de sarcină); *6* — contactor de serviciu; *7* — contactor principal; *8* — transformator (autotransformator) de reglaj; *9* — comutator de polaritate și declanșor automat.

Trebuie menționat, că utilizînd aceleași aparate și aceleași metode, se pot măsura curenții de fugă și de conducție la descărcătoarele cu rezistență variabilă, cu deosebirea că în acest caz se impun condiții mai severe pentru pulsația maximă a tensiunii sursei (cel mult 3%).

Încercarea se recomandă să fie executată după cum urmează:

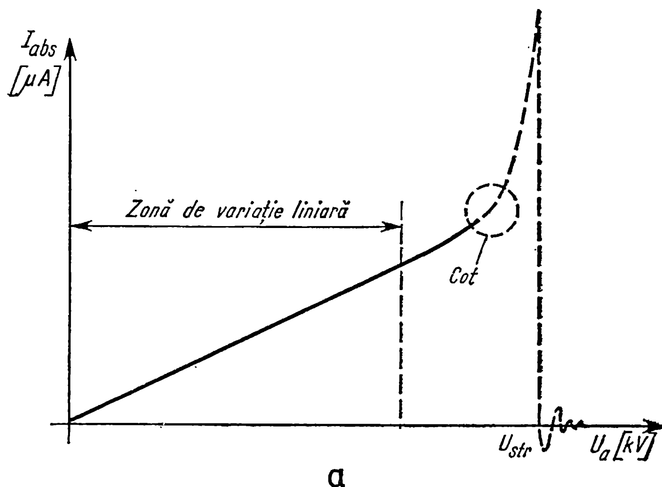
— tensiunea se ridică în trepte și foarte încet, permițînd stabilizarea curentului de conducție pe fiecare treaptă;

— se notează valoarea stabilizată a curentului de conducție pentru fiecare treaptă;

— se construiește curba $i = f(t)$ sau mai exact în acest caz

$$I_{abs} = f(U_a) \text{ și } R_{iz} = f(U_a),$$

așa cum se vede și în fig. 3.6.



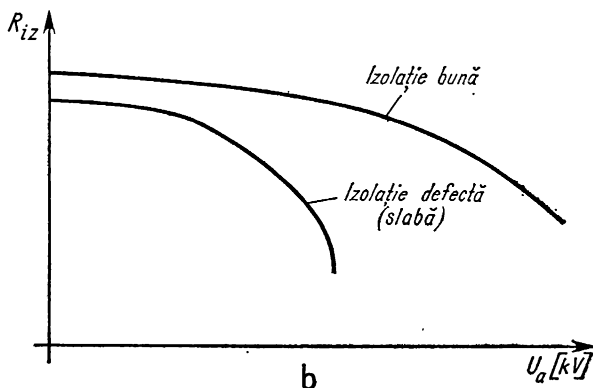


Fig. 3.6. Variația curentului de conducție (a) și a rezistenței de izolație, în MΩ, (b) în funcție de tensiunea aplicată U_a.

Variația liniară a curentului de conducție și a rezistenței de izolație, în funcție de tensiunea aplicată înseamnă că izolația este bună și aparatul poate să rămînă în continuare (în starea în care se află) în exploatare.

Încercarea însă se continuă, pînă la apariția cotului, în trepte de tensiune suficient de fine ca să se poată extrapola (din alura curbei) cu aproximație tensiunea de străpungere a izolației examinate.

Comparînd tensiunea de apariție a cotului și tensiunea de străpungere a izolației cu solicitările reale din exploatare, inginerul cu experiență poate să dea un diagnostic destul de clar privind starea izolației și posibilitatea sau imposibilitatea menținerii mai departe a aparatului examinat în exploatare, avînd în vedere că între tensiunile de ținere în c.c. și c.a., raportul este de cel puțin 1,7 (raportul dintre tensiunea maximă de străpungere a izolației respective în c.c. și valoarea de amplitudine a aceleiași tensiuni în c.a.). La o izolație perfect uscată acest raport poate să atingă valori mult mai mari (3 ... 4).

În cazul aparatelor cu capacitate mare, unde timpul de stabilire a curentului poate să se prelungească zeci de minute sau chiar ore, pentru micșorarea timpului de încercare se poate ridica o curbă, similară cu cea din fig. 3.6, citînd valorile curentului total pentru toate treptele de tensiune în același moment de timp (t = const, dar mai mic decît timpul de stabilizare).

Cînd cu experiența s-a ajuns pe ultima treaptă de tensiune, se ridică curba de variație a curentului total în funcție de timp, similară cu cea din fig. 3.1, *b*. Starea izolației este corespunzătoare dacă curba are un caracter continuu scăzător. Cele două curbe pot da indicații și pentru longevitatea aparatului încercat, dacă există datele acelorași măsurări din anii precedenți.

În cazul aparatelor cu mai multe înfășurări, izolate între ele, măsurările de mai sus se recomandă să se execute scurtcircuitînd și legînd la pămînt înfășurările neîncercate, pentru evitarea acumulării unor sarcini electrice pe acestea în timpul probelor.

3.1.3. Ridicarea curbelor tensiunii de revenire și de autodescărcare

Ridicarea curbelor tensiunii de revenire și de autodescărcare a izolației se impune în cazul cînd metodele anterioare nu asigură o sensibilitate corespunzătoare sau cînd rezultatul măsurării este mult influențat, în afară de gradul de umezire a izolației și de defectele locale în dielectric sau de dimensiunile geometrice ale obiectului supus încercării, compus din materiale izolante cu constante dielectrice diferite (izolație eterogenă).

O sensibilitate mai ridicată și o mai mare ușurință în executarea măsurărilor este asigurată prin metoda măsurării (dar mai ales a înregistrării) tensiunii la bornele izolației în prealabil încărcate, la autodescărcarea acesteia în timp (după ce a fost deconectată de la sursă), sau a tensiunii de revenire după scurtcircuitarea aceleeași izolații pentru o scurtă perioadă de timp (fig. 3.7 și 3.8).

Deconectînd sursa de înaltă tensiune continuă de la bornele izolației eterogene, în primul moment, tensiunea se repartizează proporțional cu rezis-

tenţele de izolaţie, după care urmează un fenomen de depolarizare, tensiunea pe dielectric variind conform fig. 3,8,*b* (curba tensiunii de autodescărcare). În cazul cînd după deconectarea sursei, bornele izolaţiei eterogene se scurtcircuitează pentru un scurt timp (fracţiuni de secundă), sarcina electrică de pe suprafeţele de separaţie a straturilor izolante se repartizează proporţional cu capacităţile C_1 şi C_2 din figură, tensiunile U_1 şi U_2 fiind egale şi de semn

Fig. 3.7. Schemă de principiu pentru ridicarea curbei tensiunii de autodescărcare (separatorul *K* este deschis) sau a tensiunii de revenire (separatorul *K* este închis):
1 — autotransformator de reglaj; *2* — transformator de înaltă tensiune; *3* — redresor de înaltă tensiune; *R* — rezistenţă de protecţie; *4* — comutator de înaltă tensiune cu viteză de acţionare reglabilă.

contrar. După desfacerea scurtcircuitului, în primele momente tensiunea creşte rapid la bornele izolaţiei şi atingînd o valoare maximă, scade mai lent la zero (curba tensiunii de revenire). Cu cît este mai mare panta de scădere a curbei tensiunii de autodescărcare, cu cît creşte mai încet la început curba tensiunii de revenire şi cu cît este mai mică valoarea tensiunii de revenire, cu atît mai umedă este izolaţia încercată. În fig. 3.7 este redată schema de înregistrare a tensiunii de autodescărcare şi a tensiunii de revenire la bornele unei astfel de construcţii izolante, ilustrate în fig. 3.8. Pentru ridicarea acestor curbe se pot utiliza voltmetrele electrostatice sau divizoare de tensiune şi oscilografe catodice, corespunzătoare.

O variantă a acestei metode o constituie şi *metoda capacitate-timp*, elaborată şi practicată în URSS la încercarea transformatoarelor de putere şi de măsură. Ea constă în măsurarea capacităţii obiectului în două momente de timp diferite, izolaţia fiind încărcată (polarizată) în prealabil cu o tensiune înaltă continuă. Conform acestei metode, după încărcare, izolaţia se scurtcircuitează pentru scurt timp (milisecunde) şi apoi se conectează la bornele capacităţii etalon.

După redistribuirea sarcinii, tensiunea pe capacitatea etalon va fi egală cu:

$$U_N = U_0 \frac{C_x}{C_x + C_N}, \tag{3.1}$$

unde: U_0 este tensiunea de încercare;
C_x — capacitatea aparatului supus încercării;
C_N — capacitatea condensatorului etalon.

Din valoarea tensiunii măsurate a condensatorului etalon se poate determina capacitatea obiectului (aparatului) încercat.

În cazul cînd fenomenul de redistribuire a sarcinii se desfășoară instantaneu (ca la un condensator ideal, fără polarizarea dipolilor), tensiunea pe condensatorul etalon atinge prin salt valoarea U_N și rămîne practic constantă. În prezența apei disociată în dipoli în izolație, valoarea lui U_N crește mai încet datorită fenomenelor de polarizare lentă a dipolilor sau datorită redistribuirii lente a sarcinii pe straturile dielectricului neomogen. Variației tensiunii de revenire, după o periodaă anumită de timp, îi va corespunde o creștere a capacității ΔC. Raportul $\Delta C/C$, dintre creșterea capacității și capacitatea măsurată imediat după momentul descărcării, adică creșterea relativă a capacității, este determinată de conținutul de umezeală în izolația anali-

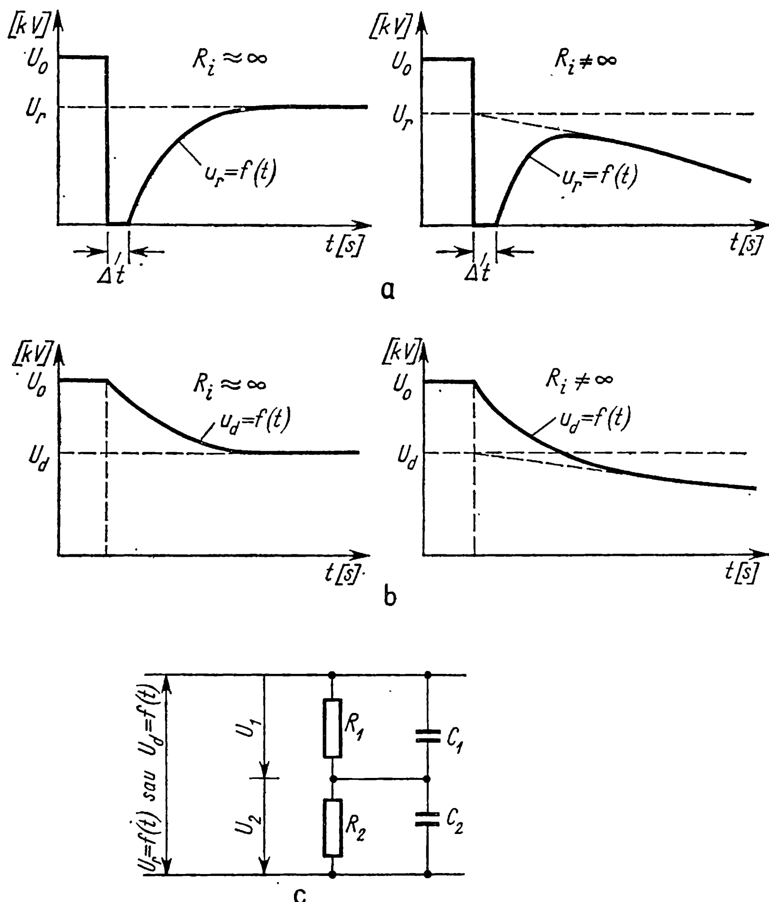


Fig. 3.8. Curbele tensiunii de revenire (*a*) și a tensiunilor de autodescărcare (*b*) în cazul izolațiilor practic fără pierderi ($R_i = \infty$) sau cu pierderi ($R_i \neq \infty$) prin curenți de conducție și schema echivalentă a unei izolații eterogene (*c*).

zată. Experiențele din URSS arată că valoarea $\Delta C/C$ crește aproximativ liniar cu creșterea conținutului specific de umiditate dintr-o izolație de tipul hîrtie-ulei, fenomen demonstrat la VNIIE din Moscova.

În legătură cu utilizarea acestei metode, trebuie menţionat, că într-o izolaţie de răşină armată cu ţesătură de sticlă (ca, de exemplu, izolaţia practicată la întreruptoarele de medie tensiune), curentul de polarizare fiind relativ mare (sticla se polarizează aproape ca apa), simptomele de „izolaţie umezită", după criteriile descrise mai sus, nu trebuie să alarmeze personalul din exploatare. În schimb este alarmant cazul în care pe suprafaţa acestora se condensează umezeală sau se depun murdării, care duc la coborîrea substanţială a tensiunilor de conturnare, datorită creşterii inadmisibile a curenţilor de fugă (zeci şi sute de mA).

3.1.4. Determinarea factorului de dispersie

Evaluarea factorului de dispersie k_D este realizabilă fie pe baza măsurării capacităţii de bază C_b şi a capacităţii suplimentare C_s a izolaţiei, fie din curbele tensiunii de revenire $U_r = f(t)$ sau a tensiunilor de autodescărcare $U_d = f(t)$. Conform demonstraţiei din [34] factorul de dispersie poate fi determinat aproximativ din raportul tensiunilor care sînt specificate în fig. 3.8 cu ajutorul expresiilor:

$$k_{DR} = \frac{U_r}{U_0 - U_r} \tag{3.2}$$

pentru cazul folosirii curbei tensiunii de revenire şi

$$k_{DA} = \frac{U_0 - U_d}{U_d} = \frac{U_0}{U_d} - 1 \tag{3.3}$$

în cazul folosirii curbei tensiunii de autodescărcare.

La determinarea factorului de dispersie a izolaţiei conform metodelor de mai sus trebuie acordată o atenţie specială timpului (duratei) de încărcare — descărcare a izolaţiei aparatului. În primul caz, la determinarea factorului de dispersie cu ajutorul relaţiei (3.2), timpul de încărcare trebuie să fie astfel ales ca atît capacitatea de bază, cît şi cea suplimentară, să se încarce complet, iar timpul de scurtcircuitare să permită numai descărcarea sarcinii capacităţii de bază a izolaţiei. Spre deosebire de aceasta, la determinarea factorului de dispersie cu ajutorul relaţiei (3.3) timpul de încărcare trebuie să ajungă numai pentru încărcarea capacităţii de bază (metoda încărcării de scurtă durată, în cadrul căreia se cercetează descărcarea capacităţii de bază pe ramura de relaxare a schemei echivalente şi pe ramura de pierderi prin conducţie a izolaţiei).

3.2. Încercări cu tensiune alternativă (sinusoidală)

Degradarea izolaţiei este caracterizată prin accentuarea neomogenităţii structurii izolante a aparatului prin apariţia moleculelor de apă — în procesul de umezire — şi a moleculelor de acizi, baze, răşini etc. — în procesul de îmbătrînire a izolaţiei. Aceste neomogenităţi duc la amplificarea fenomenelor de polarizare a dielectricului (mai ales pentru cele cu timpi de relaxare

mai mari), la creşterea permitivităţii echivalente (adică a capacităţii echivalente) şi a tangentei unghiului de pierderi dielectrice a izolaţiei, conform celor specificate la cap. 1.

3.2.1. Măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice

Tangenta unghiului de pierderi dielectrice este o caracteristică importantă a izolaţiei şi reflectă degradarea acesteia în exploatare cu o mai mare sensibilitate decît permitivitatea sau capacitatea sa echivalentă.

Principalul avantaj al acestei metode de detectare a izolaţiei umezite constă în independenţa măsurărilor faţă de capacitatea C a obiectului de încercat (criteriu universal al stării izolaţiei), deoarece

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{\left(\frac{C}{C_b} - 1\right)\omega T}{\frac{C}{C_b} + (\omega T)^2}, \tag{3.4}$$

unde $T = R_s C_s$ în cazul efectuării măsurărilor la frecvenţa industrială. Din expresia (3.4) se vede că $\operatorname{tg}\delta$ nu depinde de valoarea absolută a capacităţii obiectului, ci numai de raportul capacităţilor C/C_b.

Valoarea absolută a $\operatorname{tg}\delta$, pentru aparatele electrice de înaltă tensiune avînd o capacitate mică (pînă la circa 300 pF), poate să fie un indiciu mai sigur al stării izolaţiei acestor aparate decît valoarea absolută a rezistenţei de izolaţie, în special dacă măsurarea se execută în starea caldă a aparatului (90°C). În tabelul 3.2, de exemplu, sînt date valorile limită ale tg δ după practica sovietică şi după PE 116 pentru cîteva aparate electrice de înaltă

Tabelul 3.2

Valori maxime ale tangentei unghiului de pierderi dielectrice tolerate la echipamentul electric în exploatare

Felul izolaţiei	tg δ la temperatura 20°C, în %	
	La punerea în funcţiune	În timpul exploatării
A. *În U.R.S.S.*		
Transformatoare de curent		
— cu izolaţie hîrtie-ulei	1,0...2,5	1,5...4,5
— cu izolaţie de hîrtie şi bachelită	2,0...3,0	5,0...12,0
Treceri izolate		
— cu izolaţie hîrtie-ulei	0,7...1,0	1,0...1,5
— cu izolaţie cu bariere de ulei	1,0...3,0	2,0...8,00
— cu izolaţie de hîrtie bachelizată	2,0...3,0	5...12
Condensatoare cu izolaţie de hîrtie-ulei	0,3...0,4	1,0
Transformatoare de putere pînă la 110 kV	1,0...2,0	4,0...5,5
Idem, peste 110 kV	1,3	1,3...2,5
B. *În R.S.România* (conform normativului	PE 116/73)	
Transformatoare de tensiune	3	—
Transformatoare de curent	3	3

tensiune în două momente (perioade) de timp ale acestora: la punerea lor în funcțiune și în timpul exploatării.

Valorile tg δ în general cresc cu temperatura (în special după 40°C) și din acest motiv datele măsurării trebuie să fie raportate la temperatura de referință, egală cu 20°C.

La aparatele electrice de înaltă tensiune, determinarea valorii acestor mărimi se efectuează cu punți speciale de curent alternativ (propuse pentru prima dată de Schering). Schemele lor principale sînt redate în fig. 3.9 (schema normală, schema răsturnată și schema cu diagonala punții pusă la pămînt.)

Punțile acestea constau dintr-un condensator etalon fără pierderi dielectrice (de regulă umplut cu gaz comprimat), un braț rezistiv reglabil, un braț rezistiv de valoare constantă, un braț capacitiv reglabil și un indicator de zero de curent alternativ (galvanometru de vibrație). Alimentarea schemei se realizează de la un transformator ridicător (sursă de înaltă tensiune sinusoidală).

Schema normală permite încercarea acelor izolații la care ambele borne (ambii electrozi) sînt izolate față de pămînt sau se pot izola provizoriu pentru efectuarea încercărilor. În schimb, *schemele răsturnate* și *schema cu dia-*

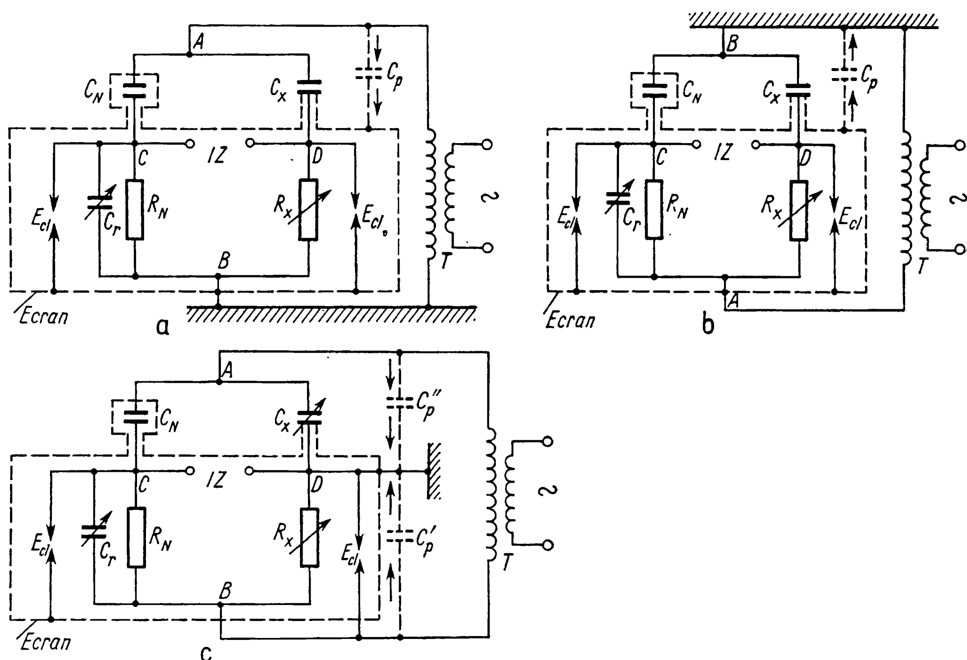


Fig. 3.9. Diferite scheme folosite pentru măsurări cu puntea Schering:
a — schema normală; *b* — schema răsturnată; *c* — schema cu diagonala pusă la pămînt; *T* — transformator ridicător; *IZ* — indicator de zero; *E* — eclator de protecție; C_P, C'_P și C''_P — capacități parazite; C_x — capacitatea obiectului de încercat; C_N — capacitatea etalon; C_r, R_N și R_x — elementele punții.

gonala punții legată la pămînt, permit și încercarea izolațiilor la care unul din electrozi este legat ferm la pămînt.

Schema cu diagonala punții legată la pămînt este mai avantajoasă din punct de vedere al protecției muncii decît schema răsturnată, deoarece elementele care se reglează (brațele cu rezistențe și capacității reglabile) se găsesc în timpul probei la un potențial redus față de pămînt (exact ca la schema normală), însă rezultatele măsurărilor se obțin cu o precizie ceva mai scăzută, datorită capacităților parazite (și a curenților de scăpări) a bobinajului transformatorului ridicător și a conductoarelor de legătură față de pămînt.

În cazul străpungerii izolației, operatorul va fi protejat prin eclatorul E. Curenții capacitivi, care s-ar induce în brațele punții prin capacitatea parazită de cuplaj C_p, sînt canalizați spre pămînt prin ecranul electrostatic legat la pămînt.

Pentru echilibrarea punții, curentul I_N prin condensatorul etalon, care se bifurcă în punctul C al schemei pe ramurile R_N și C_r, trebuie să dea naștere la o cădere de tensiune

$$U_{CB} = U_{DB} = I_x R_x.$$

Echilibrarea punții se face prin reglarea rezistenței R_x și a capacității C_r. După ce s-au stabilizat valorile acestor mărimi, la echilibrarea punții cu ajutorul indicatorului de zero IZ, tangenta unghiului de pierderi dielectrice și capacitatea obiectului se calculează conform relației

$$\operatorname{tg} \delta = \omega\, C_r R_N \qquad (3.5)$$

și

$$C = \frac{R_N}{R_x} C_N. \qquad (3.6)$$

La frecvență industrială $\omega = 314$ și în cazul alegerii potrivite a valorii R_N; ca de exemplu

$$R_N = \frac{1\,000}{\pi} \text{ sau } R_N = \frac{10\,000}{\pi}$$

exprimînd pe C_r în μF, relația (3.5) de mai sus se simplifică și devine următoarea

$$\operatorname{tg} \delta = 0{,}1\ C_r, \text{ cînd } R_N = \frac{1000}{\pi} \qquad (3.7)$$

sau

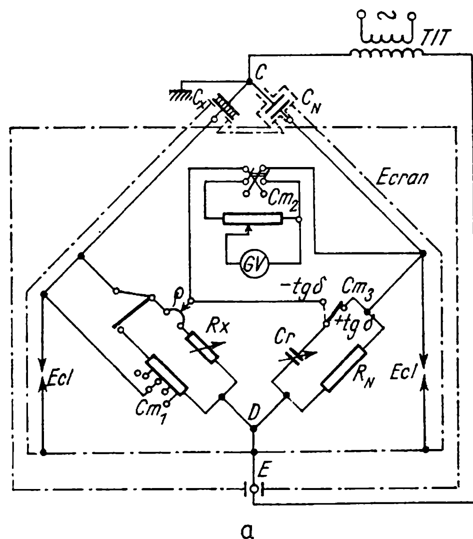
$$\operatorname{tg} \delta = C_r, \text{ cînd } R_N = \frac{10\,000}{\pi}. \qquad (3.8)$$

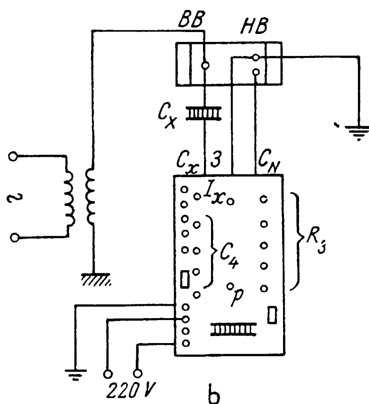
Schema răsturnată se deosebește de cea normală prin faptul că în acest caz tensiunea înaltă se aplică în punctul B (opus față de A) prin care toate brațele de măsurare ale punții se pun la potențial înalt, ca și ecranul punții.

Din figură se vede că una și aceeași punte poate fi folosită, fie în schema normală, fie în schema răsturnată, prin simpla deplasare a punctului de legare la pămînt de la punctul B la A. Este evident însă, că măsurarea în schema răsturnată necesită luarea unor măsuri speciale, ca de exemplu: folosirea

mănușilor și a cizmelor de cauciuc, izolarea corespunzătoare a punții și a indicatorului de zero față de pămînt și față de instalațiile electrice de alimentare a becurilor de scară, utilizarea covoarelor de cauciuc etc.

La măsurarea tangentei unghiului de pierderi dielectrice și a capacității, în cele două scheme analizate, în exploatarea sistemului electroenergetic al României sînt răspîndite punțile Schering de fabricație sovietică de tipul lui MD-16 și MDP, schema cărora este redată în fig. 3.10.





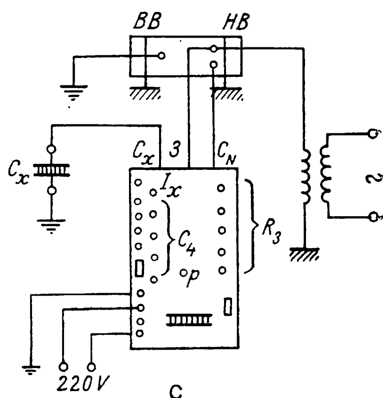


Fig. 3.10. Schema punții tip MD-16 (*a*). Schema ei de conexiune (montaj) normală (*b*) și răsturnată (*c*):

TIT — transformator de încercare ($U_{max} \leqslant 10$ kV$_{ef}$ în schema răsturnată); C_x — obiectul de încercat; C_N — condensator etalon; *GV* — galvanometru de vibrație; R_N, R_x, C_r — elemente de echilibru ale punții; C_{m1} — comutatorul treptelor de șuntare ale lui R_x; C_{m2} — comutatorul sensului curentului prin galvanometrul de vibrație; C_{m3} — comutatorul pentru măsurarea tg δ negative; *Ecl*- — eclator de protecție.

Precizia detectării umezelii din izolație și a măsurării în general cu punțile Schering depinde de:

— sensibilitatea indicatorului de zero;

— cîmpurile electrice și magnetice exterioare perturbatoare;

— curenții paraziți de fugă (de scăpări, de conducție);

— capacitățile parazite ale conductoarelor și cablurilor folosite pentru încercare;

— pierderile prin ionizări, descărcări parțiale și fenomenul corona, care pot avea loc la detectarea pierderilor dielectrice propriu-zise.

Sensibilitatea indicatorului de zero, și în consecință precizia măsurărilor, se poate ridica prin introducerea în diagonala punții a unui amplificator corespunzător. Astfel se procedează și în cazul cînd încercarea trebuie să fie executată la o tensiune mai mică.

În cazul *cîmpurilor exterioare foarte puternice*, se poate întîmpla ca puntea să nu fie echilibrată pentru un sens al curentului de alimentare, datorită faptului că tg δ este negativă. În aceste cazuri se procedează astfel: se fac fie două măsurări, schimbînd sensul curentului în primarul transformatorului de încercare, fie se deconectează capacitatea C_r de la rezistență R_N și se leagă în paralel cu rezistența R_x. În primul caz tg δ va fi media aritmetică a celor două măsurări, în cel de al doilea caz (care se practică des la puntea MD-16) valoarea acesteia se determină cu ajutorul relației

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_r R_x. \tag{3.9}$$

Cîmpurile electromagnetice exterioare pot induce tensiuni electromotoare chiar în bobinajul galvanometrului de vibrație sau a transformatorului de adaptare al amplificatorului din diagonala punții, dacă acestea nu sînt perfect ecranate. Și în acest caz se execută două măsurări prin inversarea sensului curentului în galvanometru, valorile capacității și a tg δ fiind egale cu media aritmetică a celor două măsurări.

Curenții paraziți de conducție pot influența precizia măsurărilor în sensul arătat din fig. 3.11, unde s-a luat ca exemplu un transformator de tensiune (TEMU-110 modernizat). Curentul I_x, care circulă prin izolația dintre înfășurarea de înaltă și de joasă tensiune a unui transformator de tensiune, este condiționat de conductanța izolației G_x și de curentul parazit I_p, care se scurge pe suprafața izolației externe. Se poate remarca că sensul curentului I_p prin R_x se schimbă dacă se inversează borna x cu borna u a înfășurării de joasă tensiune. Din acest motiv se fac măsurări în ambele situații și valoarea tg δ se consideră egală cu valoarea medie a celor două măsurări. Trebuie menționat că, în cazul izolației externe foarte murdare (suprafața trecerilor izolate intens poluată) și umezite, tg δ din această cauză poate să fie chiar negativă.

Capacitățile parazite datorite ecranelor, capacităților uniform repartizate ale cablurilor coaxiale de măsurare și a racordurilor de tensiune înaltă, pot da naștere la erori suplimentare. În unele punți (de exemplu la puntea compensatoare a firmei Siemens) sînt prevăzute posibilitățile pentru compensarea unor capacități parazite mari (pînă la 12 000 pF).

La măsurarea tg δ, la tensiuni mai mari decît tensiunea nominală a aparatului, măsurările sînt puternic influențate de ionizări, descărcări parțiale, fenomenul corona sau efluvii în instalația de încercare, făcînd deseori imposibilă efectuarea probelor (echilibrarea punții). Instalația de încercare trebuie

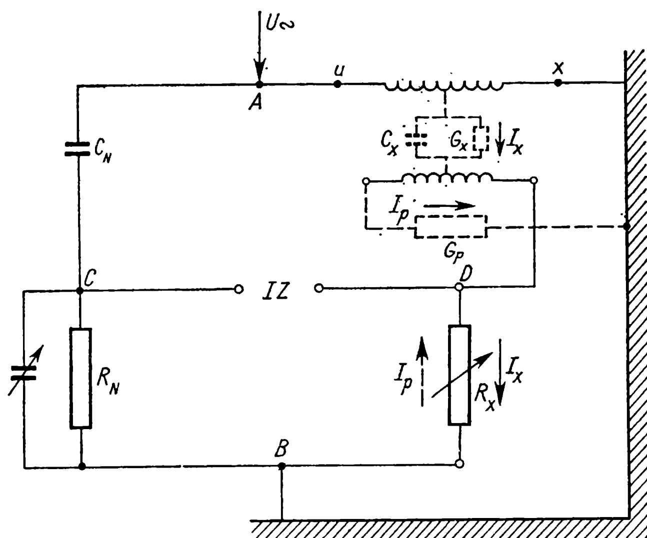


Fig. 3.11. Influiența conductanței parazite G_p a izolației externe (de exemplu treceri izolate murdare) a unui transformator de tensiune asupra rezultatului măsurării tgδ.

să fie în orice caz liberă de astfel de fenomene, pentru a micșora erorile de măsurare la minimum posibil.

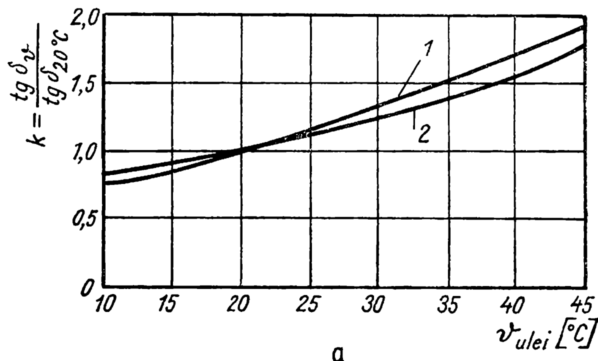
Dacă valoarea tg δ, făcînd toate corecțiile menționate mai sus, nu se încadrează în valorile indicate în tabelul 3.1, atunci pentru lămuriri suplimentare cu privire la starea izolației aparatului examinat, înaintea scoaterii lui din funcțiune, se efectuează încercările complimentare descrise mai jos.

Curba de variație a tg δ *în funcție de temperatură* poate să aducă lămuriri suplimentare prin panta sa de variație mai abruptă decît cea normală (cînd izolația este uscată). În fig. 3.12 este redată variația aproape universal valabilă a tg δ în funcție de temperatură, a unei izolații de ulei, precum și variația tg δ, la un transformator de curent cu izolația de hîrtie și de ulei umezită, în funcție de tensiune și de temperatură.

Pe baza acestor curbe (în cazul izolației de tipul hîrtie-ulei) se pot compara rezultatele măsurărilor efectuate la temperaturi diferite, care în cazul umezelii trebuie să aibă o pantă mai mare decît cea din fig. 3.12.

Variația tg δ *în funcție de tensiune* (curba de ionizare) poate să furnizeze informații utile mai ales în cazul izolației hîrtie-ulei. Ridicarea acestei curbe se începe de obicei la 25% din tensiunea nominală, limita superioară la care se ajunge în final fiind cel puțin egală cu 120% din tensiunea nominală. În

continuare, dacă este posibil, încercarea trebuie să fie dusă pînă aproape de tensiunea de încercare (curba de ionizare a dielectricului). Dacă în curbă se observă un cot ca la variația rezistenței de izolație în funcție de tensiune (v. fig. 3.6) proba se oprește și se încearcă extrapolarea tensiunii de străpun-



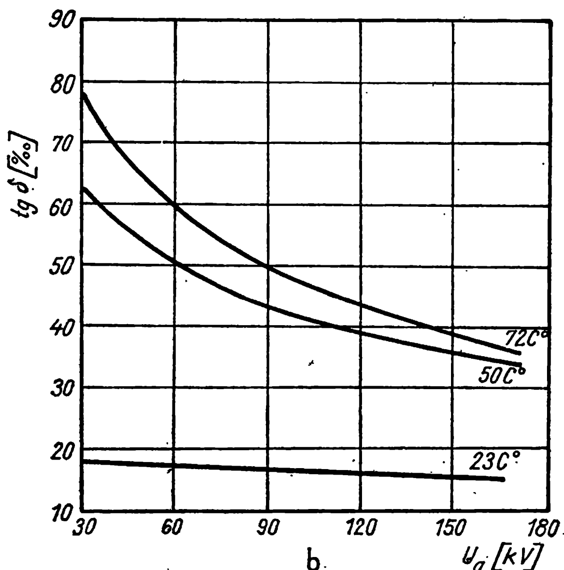


Fig. 3.12. Dependența tgδ în funcție de temperatura uleiului (*a*) după norme sovietice (*1*)și americane (*2*) și variația tg δ a izolației umezite a unui transformator de curent austriac în funcție de temperatura de regim și tensiunea aplicată (*b*).

gere a izolației. Măsurarea tg δ în mod normal se execută la tensiuni superioare tensiunii de serviciu, ajungînd pînă la 0,5 ... 0,7 U_{inc}.

În cazul izolației umezite, *cotul* este de regulă mai accentuat față de cel al izolației uscate (fig. 3.13, *a*)

În cazul izolației deteriorate (prăbușite) valoarea tg δ scade în funcție de tensiune. Alura practic orizontală a curbei la tensiuni mici și creșterea

bruscă a tg δ după o valoare critică, denotă prezența unor crăpături, incluziuni sau punți conductoare în izolație (fenomene care însoțesc îmbătrînirea

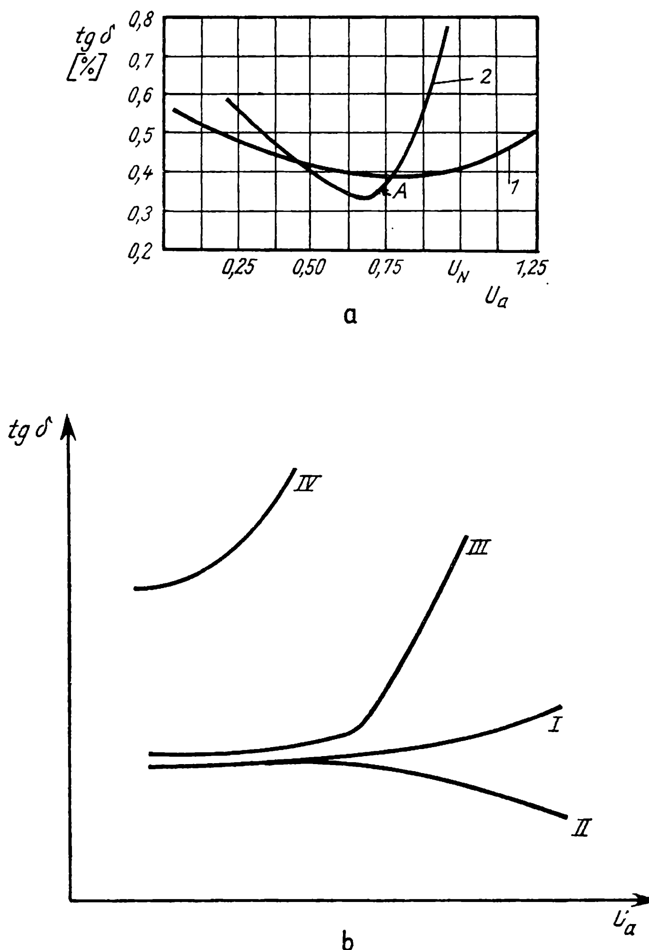


Fig. 3.13. Variația tg δ în funcție de valoarea tensiunii aplicate în cazul unei izolații de tipul hîrtie-ulei (*a*) și în general (*b*) după [34]:

1 — izolație uscată; *2* — izolație umezită; *A* — începutul descărcărilor nedisruptive (prag de ionizare la frecvență nominală); *I* — izolație bună; *II* — izolație deteriorată; *III* — izolație cu incluziuni de gaze și impurități (îmbătrînită); *IV* — izolație umezită, murdărită, în degradare avansată.

izolației aparatelor). Valoarea inițială ridicată a tg δ, care crește vertiginos apoi cu tensiunea, semnalează o izolație umezită și murdară (fig. 3.13, *b*)

În cazul unei izolații uscate și fără depuneri de murdărie pe suprafață, *variația tg δ în funcție de timp* are caracter lent scăzător. În cazul izolației

umezite, cu suprafață puternic poluată sau defectuoasă în general, tg δ crește, așa cum se vede din fig. 3.14, în special în cazul izolației hîrtie-ulei.

Curba se ridică cu tensiunea aplicată lung timp, măsurînd succesiv valoarea tg δ (cel puțin în intervale de 15 min) pînă cînd într-un interval de

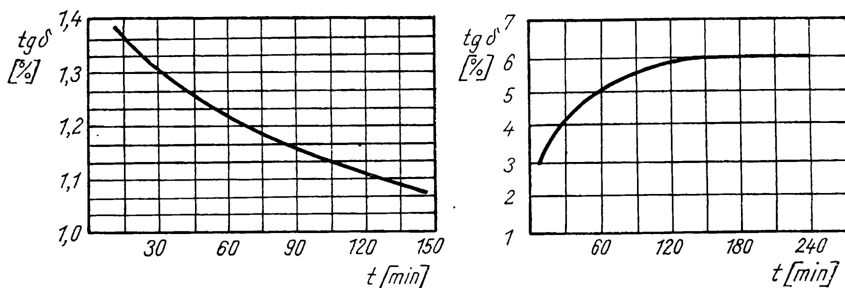


Fig. 3.14. Dependența tgδ în funcție de timp la o izolație:
a — uscată; *b* — umedă.

cel puțin 30 min tg δ nu mai variază. Deoarece variația tg δ în funcție de timp este mai abruptă în primele minute, caracteristica tg $\delta = f(t)$ se ridică înaintea caracteristicii tg $\delta = f(U)$.

3.2.2. Măsurarea capacității (sau a permitivității) izolației

Capacitatea izolației măsurată în curent alternativ, la o temperatură și o frecvență dată, reprezintă o caracteristică constantă a dielectricului. Metoda este sensibilă la detectarea defectelor, în special atunci cînd valoarea tg $\delta > 1\%$ și capacitatea izolației este mică (fig. 3.15).

Variația abruptă a capacității denotă că în izolația examinată este un defect (de exemplu formarea unor punți conductoare care șuntează o parte din izolație). Din acest motiv pentru aprecierea stării izolației deseori se utilizează măsurări de capacități executate la frecvențe diferite.

Capacitatea aceasta, luînd în considerație schema echivalentă generală a izolației din fig 3.1, se determină cu ajutorul relației

$$C_\omega = C_b + C_s \frac{1}{1 + (\omega T)^2}. \tag{3.10}$$

Conform relației și a considerațiunilor fizice rezultă că atunci cînd $\omega \to \infty$ capacitatea dielectricului este minimă (v. fig. 3.15). Cu cît este mai mare conținutul în apă al izolației sau cu cît sînt mai murdare suprafețele izolante, cu atît este mai mare capacitatea C_s.

Totodată se cunoaște că impuritățile (sau murdăria, în general) practic nu au nici o influență asupra capacității C_b. Rezultă că, făcînd două măsurări, la frecvență joasă și la frecvență mai înaltă, din diferența capacităților (sau din raportul lor) se poate deduce starea îmbătrînită, impură sau umezită a izolației. După experiența sovietică, aceste măsurări se fac la 2 Hz și la

50 Hz. La aceste aparate, ca indice de umiditate a fost luat raportul capacității măsurate la 2 Hz, față de cea măsurată la 50 Hz. Cu cît se apropie acest raport de valoarea ideală 1, cu atît starea izolației este mai bună. Izolația se consideră că este umezită dacă

$$\frac{C_2}{C_{50}} > 1,3.$$

Variația capacității izolației în funcție de frecvență poate semnala nu numai prezența umezelii ci și gradul de îmbătrînire a structurii izolante in-

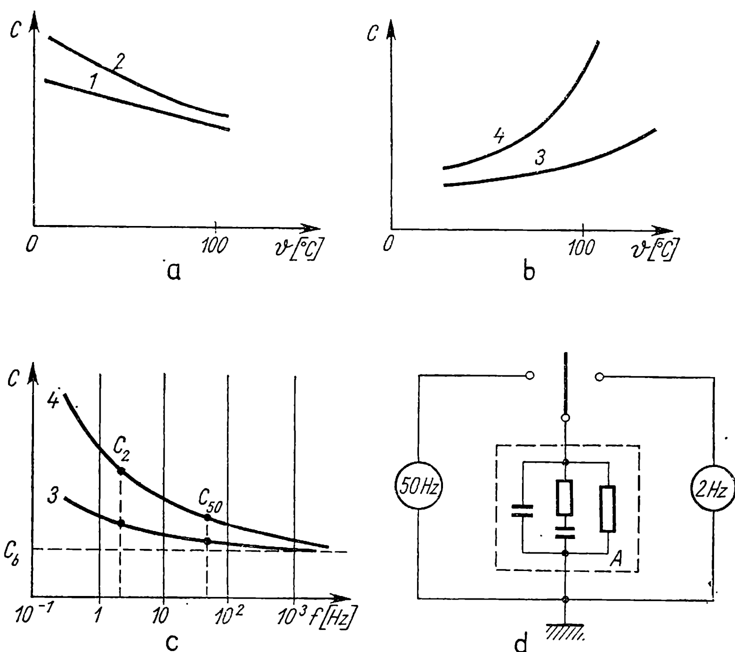


Fig. 3.15. Variația capacității (permitivității) izolației de hîrtie impregnată în funcție de temperatura de regim (*a* și *b*), în funcție de frecvența tensiunii de încercare (*c*) și schema de principiu (*d*) pentru măsurarea capacității la două frecvențe diferite:

1 — izolație nouă; *2* — izolație îmbătrînită; *3* — izolație uscată; *4* — izolație umezită; *A* — aparatul de încercat.

vestigate. Aceste cercetări însă trebuie să fie efectuate la frecvență mai ridicată (kHz) cu aparate greu accesibile în practică (sursă de tensiune reglabilă de putere, punte de măsură specială.)

Trebuie menționat însă, că atît metoda C_2/C_{50}, cît și alte metode dezvoltate în ultimii ani, în special de cercetătorii sovietici, bazate pe măsurarea capacității (ca de exemplu metoda capacitate-frecvență, capacitate -timp și metoda C_{cald}/C_{rece}) sînt de o sensibilitate insuficientă pentru depistarea umezelii la majoritatea aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune.

3.2.3. Detectarea nivelului de descărcări parţiale

În izolaţia aparatelor electrice, în timpul fabricaţiei, transportului, manipulării necorespunzătoare la montaj sau în timpul exploatării, datorită îmbătrînirii se formează incluziuni gazoase, alveole sau fisuri, în care, sub acţiunea cîmpului electric mai intens, în funcţionare se produc descărcări electrice, denumite descărcări parţiale. Aceste descărcări nu prezintă un pericol iminent pentru siguranţa în funcţionare a aparatului, dar sînt deosebit de importante pentru durata de funcţionare (viaţa) a izolaţiei echipamentului respectiv, din cauza caracterului cumulativ al fenomenului, care sub acţiunea solicitărilor electrice, mecanice, termice şi chimice însoţitoare, evoluează în timp, în sensul măririi dimensiunilor cavităţii, a extinderii zonelor contaminate, ducînd în final la defectarea izolaţiei în ansamblu.

Metodele de depistare a descărcărilor parţiale se bazează pe controlul, măsurarea sau înregistrarea următoarelor mărimi şi fenomene fizice care însoţesc descărcarea parţială din izolaţia aparatelor electrice [72]:

a) radiaţii luminoase emise (metode optice);

b) zgomotul (metoda acustică şi ultraacustică);

c) efectul chimic al descărcării sau efectul bazat pe transformări chimice interne (metode chimice);

d) presiunea gazelor (metoda gazodinamică);

e) căldura (efect caloric) cedată (metoda radiaţiilor calorice);

f) fenomene electrice, ca de exemplu, pierderi de ionizare şi impulsuri electrice transmise (metode electrice).

Metodele cele mai sensibile sînt în general cele electrice, dar în anumite condiţii (lipseşte aparatura adecvată, construcţia aparatului electric se pretează mai bine la o altă metodă neelectrică de defectoscopie a izolaţiei etc.) şi alte metode de defectoscopie nedistructivă sau distructivă (fig. 3.16), cu sau fără aplicarea tensiunii înalte, pot să devină utile în mîna unui specialist cu experienţă.

Alegerea celei mai potrivite metode de detectare a descărcărilor parţiale, descrise mai sus, depinde în mare măsură de scopul propus la efectuarea încercărilor. În cazul cînd se intenţionează numai scoaterea în evidenţă a unor fisuri în izolaţie sau confirmarea prezenţei sau absenţei descărcărilor parţiale, la o tensiune dată, într-o construcţie izolantă oarecare, atunci pot fi utilizate oricare din metodele menţionate mai sus. Dacă măsurarea are ca scop stabilirea mărimii sau intensităţii acestor descărcări, atunci se utilizează în primul rînd diferite procedee aparţinînd metodelor electrice. În continuare, dacă se pune problema localizării descărcărilor parţiale, atunci metoda prioritară depinde de particularităţile izolaţiei aparatului de încercat.

Problema cea mai grea se pune atunci cînd, în final, se cunosc mărimile caracteristice ale descărcării, s-a stabilit şi locul sau locurile unde aceste descărcări se produc şi este necesară o evaluare a gradului de distrugere locală a izolaţiei aparatului respectiv, adică: prognozarea longevităţii şi evaluarea nocivităţii descărcărilor în general.

Metodele optice de detectare a descărcărilor parţiale se folosesc în cazul izolaţiei translucide sau transparente (de exemplu din plexiglas), unde descărcările interne se pot sesiza şi pe cale vizuală. Dacă radiaţia este slabă,

luminozitatea ei se poate mări prin creșterea frecvenței tensiunii aplicate. Această metodă se utilizează și la cercetarea izolației miezurilor înglobate în polietilenă. Sensibilitatea metodei în acest caz, cu toate că se utilizează fotomultiplicatoare pentru sesizarea radiațiilor, nu este mare (după unele afirmații nu depășește 50 pC, dacă izolația este solicitată cu tensiune sinusoidală).

Mult mai ușor se detectează descărcările parțiale care se produc pe suprafața unui dielectric oarecare sau descărcările corona, prin *metoda fotografierii*. Aparatul sau construcția izolantă, se amplasează într-o cameră obscură și simultan cu aplicarea tensiunii se deschide diafragma aparatului fotografic. În timpul experienței, obiectul de încercare se iluminează pentru o perioadă scurtă, pentru ca descărcarea să fie localizabilă prin suprapunerea celor două imagini, prima obținută în întuneric cu expunere foarte lungă și cea de a doua, reprezentînd imaginea aparatului, obținută la lumină cu expunere foarte scurtă. După unii autori prin această metodă se pot detecta descărcări mai mici de 1 pC. Sensibilitatea metodei este în funcție de timpul de expunere la întuneric, care este relativ mare. Astfel, de exemplu, pentru înregistrări de descărcări de sarcini mai mici de 10 pC timpul de expunere este de ordinul a 10 h, pentru 10 ... 100 pC este aproximativ 3 h, iar pentru descărcări mai mari este suficientă o expunere de 1h sau chiar mai puțin de 1h. Timpul de expunere depinde și de concentrația descărcărilor. De exemplu,

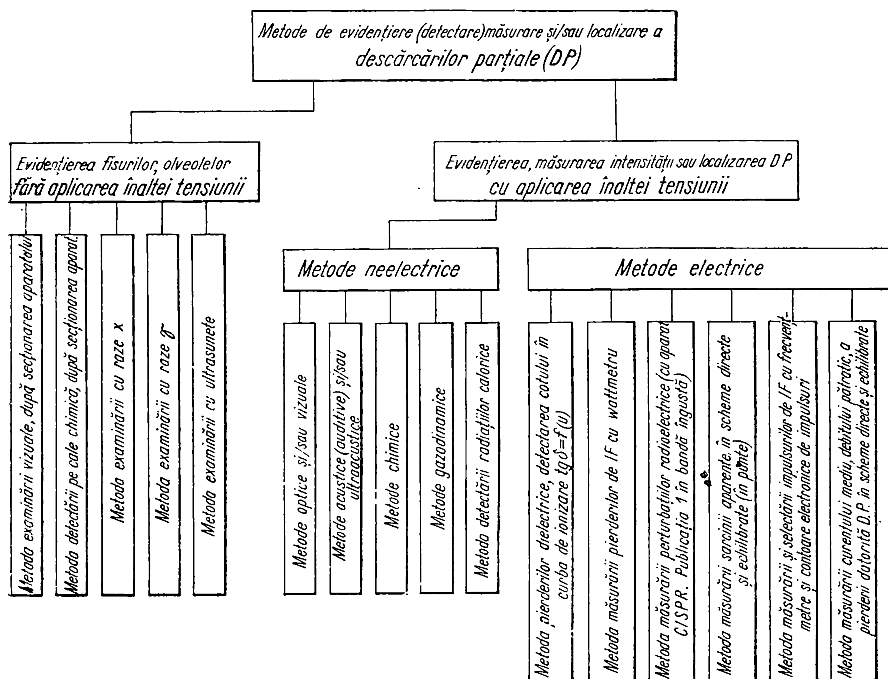


Fig. 3.16. Metode de scoatere în evidență, de măsurare și/sau de localizare a descărcărilor parțiale în izolația aparatelor.

este suficient un timp de expunere de cîteva minute pentru înregistrarea fotografică a descărcării corona, de 20 pC. Timpul de expunere poate fi micșorat în mod substanțial prin creșterea frecvenței tensiunii sinusoidale aplicate. Un nou pas înainte în domeniul detectării descărcărilor parțiale pe această

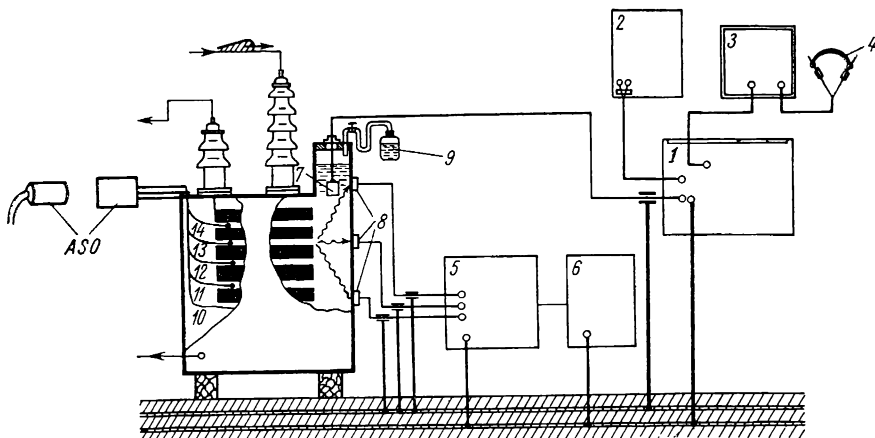


Fig. 3,17. Schema de detectare a descărcărilor parțiale prin metoda defectoscopiei acustice (*1, 2, 3, 4, 7*), ultraacustice (*5, 6, 8*), chimice (9) și optice, bazate pe utilizarea fibrelor de sticlă (*10, 11, 12, 13, 14*) la o bobină de reactanță în ulei:

1 — indicator acustic de descărcări parțiale; *2* — osciloscop; *3* — difuzor; *4* — cască; *5* — punte pentru amplificarea semnalelor ultraacustice; *6* — aparat înregistrator; *7* — sondă electroacustică; *8* — traductoare de semnal ultraacustic (eventual microfon de contact); *9* — eprubetă specială; ASO — analizor de semnale optice.

cale constă în utilizarea conductoarelor de lumină și a analizoarelor de semnale optice (ASO) emise de la locul de defect (fig 3.17).

Metodele auditive sau acustice de detectare a descărcărilor parțiale sînt cele mai vechi metode de defectoscopie a izolației, practicată în industria electrotehnică și în exploatarea sistemului electroenergetic. În cazul trecerilor izolate ale aparatelor electrice, de exemplu, experiența arată că pe cale auditivă se pot sesiza descărcări parțiale la 50 Hz ale unor sarcini de ordinul 40 pC. În cazul efluviilor pe suprafața trecerilor izolate, sensibilitatea acestor metode variază în limitele 20 ... 80 pC.

Traductoarele acustice și ultraacustice, amplasate în imediata apropiere a obiectului de încercat, pot să ducă la îmbunătățirea esențială a sensibilității metodelor de detectare, bazate pe înregistrarea undelor sonore și ultrasonore emise de la locul de producere a descărcărilor. Metoda bazată pe înregistrarea undelor ultrasonore crează uneori (în cazul obiectelor de încercare de construcție simplă, fără labirinți de ulei sau gaze) posibilitatea determinării locului de descărcare, deoarece aceste unde (spre deosebire de undele sonore) se răspîndesc printr-un fascicul îngust în linie dreaptă și nu sub forma unor unde sferice elastice. Defectoscopia, bazată pe înregistrarea spectrului de frecvență al zgomotului, ridicată cu analizoare de armonici (vobulatoare), poate să fie utilă pentru cercetarea stării izolației aparatelor electrice de tensiuni foarte înalte, în special dacă această izolație este amenințată de avarie.

Metodele, ilustrate în fig. 3.17, bazate pe principiul captării semnalelor optice a șocurilor mecanice, hidraulice, gazo-dinamice etc., propagate de la locul de descărcare pînă la traductoarele amplasate în interiorul sau pe anvelopa aparatului, au dezavantajul comun al introducerii greoaie în construcția izolantă a acestor traductoare de semnale optice, acustice și ultraacustice (antene, sonde, plăci, conture, microfoane, dispozitive electromagnetice, piezoelectrice etc.).

Metoda microfonului de contact tinde să elimine acest dezavantaj. Această metodă dă rezultate și la încercarea aparatelor cu cuvă metalică legată la pămînt sau a transformatoarelor de măsură turnate în rășini sintetice etc., unde se poate realiza un contact destul de intim cu locul de producere al descărcărilor parțiale (în cel de al doilea caz prin intermediul unei tije izolante rigide). Semnalul acustic care se transmite este atenuat datorită mediului intermediar (metal, dielectric), avînd caracteristica de frecvență (proprie) definită prin relația

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{m/s}}, \tag{3.11}$$

unde: m este masa microfonului;

$1/s$ — elasticitatea coloanei de material (tija electroizolantă) care se află dedesubtul microfonului.

Oscilația produsă (semnalul de descărcare parțială) atinge valoarea maximă tocmai în zona acestei frecvențe proprii (punct sau vîrf de rezonanță). Din cercetările teoretice și experimentale rezultă că metodele acustice și ultraacustice prezintă următoarele avantaje mai importante:

— metoda bazată pe introducerea traductorului în interiorul construcției izolante (de exemplu cuva transformatoarelor de măsură și a întreruptoarelor cu ulei) este insensibilă față de zgomotul extern și față de semnalele parazite de audiofrecvență din circuitele de măsurare;

— metoda în general este foarte operativă (rezultatul se poate afla imediat, prin difuzorul instalației de înregistrare al semnalului de zgomot);

— sensibilitatea metodei (și în special a metodei microfonului de contact) este relativ mare (sesizează uneori o descărcare chiar a unei sarcini de 5 pC).

Metodele chimice de detectare a descărcărilor parțiale se bazează pe analiza gazelor care se degajă din izolația aflată în contact cu aceste descărcări. În funcție de proveniența lor, gazele au o compoziție chimică diferită. În cazul descompunerii izolației alcătuite din material izolant organic și ulei, după compoziția gazului acumulat în partea superioară a construcției și mai ales a gazului dizolvat în ulei se pot trage o serie de concluzii interesante privind perturbația care a intervenit în interior. Acești indici sînt următorii:

— la descompunerea (carbonizarea) uleiului, datorită descărcărilor și ionizărilor, se degajă în primul rînd hidrogen și bioxid de carbon, pe lîngă cantități mici de acetilenă (în unele cazuri apare și o cantitate relativ redusă de oxid de carbon);

— la carbonizarea izolației de hîrtie, datorită supraîncălzirii conductorului (a electrodului care se descarcă), se degajă în primul rînd combinații

ale carbonului cu oxigenul (ca de exemplu CO_2 și CO), iar în anumite cazuri apar și cantități mici de acetilenă. Dacă raportul dintre CO_2 și CO degajat este de 10 ... 20 și lipsesc celelalte gaze (O_2, N_2), atunci acesta semnalează descompunerea termică a celulozei.

Principalul simptom al apariției descărcărilor parțiale în izolația hîrtie-ulei a aparatelor constă în degajarea unei cantități importante de H_2, însoțită cu emanarea unor cantități mai mici de CO_2 și CH_4.

Din cele de mai sus rezultă că acetilena, de exemplu, poate să fie prezentă atît în cazul producerii descărcărilor parțiale în ulei, cît și în cazul descompunerii izolației electrice solide. Sînt interesante metoda lui Seiler și recentele recomandări CEI nr. 10 A din 25 ianuarie 1972 în acest domeniu. Metoda lui Seiler se bazează pe utilizarea unei eprubete umplute cu cristale de reactivi (similară în principiu cu „bășica" folosită la controlul circulației rutiere), care comunică cu interiorul aparatului (cuva). În caz de apariție a descărcărilor parțiale se degajă gaze diverse care colorează în mod diferit cristalele respective.

Aprecierea corectă, prin această metodă, a locului de descărcare și a gradului de deteriorare a izolației nu se poate face din cauza solubilității diferite a gazelor, și în special a hidrocarburilor în ulei. Sensibilitatea metodei este destul de mare. La hidrocarburi este suficientă o cantitate de 0,1 ... 1,2 cm^3, iar la oxizi de carbon o cantitate de 0,4 ... 4 cm^3 de gaz pentru obținerea unor rezultate satisfăcătoare.

Un alt tip de eprubetă permite chiar diagnosticarea hidrogenului, adică indică prezența sau absența descărcărilor în ulei, cantitatea de gaz minim necesară pentru sesizarea descărcărilor fiind de 2,5 cm^3. În acest caz eprubetele speciale, cu conținut de cristale diferite, sînt montate în serie și dau o imagine clară despre compoziția gazelor (și evident asupra distrugerilor incipiente de izolație) din interiorul aparatului.

Culorile care apar, datorită reacțiilor chimice în eprubetă, pot fi fixate (memorizate) pentru mai mult timp prin etanșarea capetelor eprubetei. În aceste condiții eprubetele pot servi mai tîrziu, de exemplu, cu ocazia analizei de avarii ulterioare, ca probe-martori. În afară de aceasta, probele de ulei luate sistematic cu o fiolă specială, pot servi ca un instrument de control profilactic al stării izolației echipamentului electric de înaltă tensiune, avînd izolația compusă din hîrtie și ulei sau gaze (de exemplu gaze electronegative).

O metodă chimică mult mai exactă, dar mai puțin operativă, este metoda bazată pe *analiza spectrală a gazelor* care se degajă cu ocazia descărcărilor de intensități diferite în izolația echipamentului electric de înaltă tensiune (în special în izolația hîrtie-ulei a transformatoarelor de măsură și a bobinelor de reactanță în ulei).

Metodele chimice de defectoscopie, pe lîngă unele avantaje indiscutabile (independența totală a diagnosticului față de fenomenele electromagnetice perturbatoare; simplitatea; operativitatea) prezintă un dezavantaj important, acela că nu este universală, putîndu-se aplica numai la un echipament capsulat sau introdus într-o cuvă metalică sau izolantă. În afară de aceasta, sensibilitatea ei depinde de particularitățile constructive ale echipamentului respectiv (bulele de gaz degajate datorită descărcărilor parțiale pot să rămînă nesesizate, fiind imobilizate în labirinții construcției izolante). Trebuie

menționat că pe cale chimică, fără aplicarea tensiunii înalte, pot fi scoase în evidență chiar și fisurile sau crăpăturile microscopice din izolație, similar ca la proba de fuchsină a izolatoarelor de porțelan.

Metoda gazodinamică constă în detectarea descărcărilor parțiale prin măsurarea presiunii aerului (sau gazelor) din imediata apropiere a locului de producere a descărcării. Datorită reacției chimice a oxigenului din aer cu gazele degajate în locul de descărcare, presiunea aerului (gazului) descrește. Acest fenomen a fost studiat în scopul detectării descărcărilor în cabluri de forță. Măsurarea presiunii s-a făcut într-o incluziune de aer aflată între partea conductoare a cablului și izolația respectivă, într-o schemă diferențială (în punte) de măsurare a presiunilor foarte mici. La aparatele electrice de înaltă tensiune această metodă se poate aplica în cazul transformatoarelor de măsură turnate în rășini sintetice.

Metoda radiațiilor calorice se bazează pe efectul termic al descărcărilor parțiale și pe sesizarea căldurii cedate de la locul de producere a descărcării.

Cunoscînd harta termică a construcției izolante fără descărcări parțiale (ca de exemplu, supratemperaturile în punctele diferite ale aparatelor electrice de medie tensiune turnate în rășini sintetice măsurate la fabrica constructoare) și comparînd aceasta hartă cu una ridicată după mai mulți ani de exploatare, se poate deduce îmbătrînirea izolației datorită acestor descărcări și se pot depista locurile cu descărcările parțiale cele mai intense din construcția aparatului respectiv.

Această metodă nu este însă suficient de sensibilă și prin ea nu se poate determina exact intensitatea (mărimea) și locul descărcărilor parțiale, datorită condițiilor diferite de cedare a căldurii din loc în loc și din cauza inerției de înregistrare a supratemperaturilor. În afară de aceasta, prezența tensiunii îngreunează foarte mult efectuarea încercării după această metodă.

Metodele electrice de detectare a descărcărilor parțiale se bazează pe investigarea impulsurilor de înaltă frecvență emise de la locul de descărcare, pe măsurarea perturbațiilor radioelectrice și pe determinarea pierderilor de descărcare (v. fig. 3.16, 3.18 ... 3.23).

În principiu pentru această încercare sursa de înaltă tensiune S poate să fie de diverse tipuri: poate să genereze la borne tensiune înaltă sinusoidală de frecvențe diferite, tensiune de impuls sau tensiune înaltă continuă (redresată). Pentru practică, prezintă maximum de interes metodele electrice de detectare a acelor descărcări parțiale care au loc în condițiile normale de funcționare a echipamentului electric, adică cu ocazia aplicării unei tensiuni alternative sau sinusoidale pe bornele obiectului de încercat sau chiar în condițiile nenormale de funcționare a aparatelor electrice în sistemul electroenergetice (de exemplu în cazul supratensiunilor temporare).

Caracteristica principală a acestor surse (de obicei transformatoare sau cascade de transformatoare de înaltă tensiune) constă în absența totală (sau în limite bine cunsocute) a descărcărilor parțiale proprii care ar putea să conturbe măsurarea. În afară de aceasta, este indicat ca impedanța proprie a sursei (a transformatorului) să fie mult mai mare decît impedanța de măsurare Z_m. Condensatorul de cuplaj C_K este de regulă un condensator cu gaz comprimat, dar fără descărcări parțiale proprii și fără pierderi. Această condiție se realizează, de obicei, folosind un condensator de construcție obișnuită

pentru tensiuni mult sub tensiunea nominală înscrisă pe eticheta condensatorului respectiv.

În unele cazuri speciale (cînd este necesară utilizarea unor condensatoare de cuplaj de capacitate prea mare sau în schemele simetrice de detectare a descărcărilor parțiale), în locul condensatorului de cuplaj se poate utiliza un al doilea aparat de încercat A' luat ca referință.

Impedanța de măsurare Z_m poate să fie conectată în serie cu obiectul de încercat sau în serie cu condensatorul de cuplaj, ultima conexiune se uti-

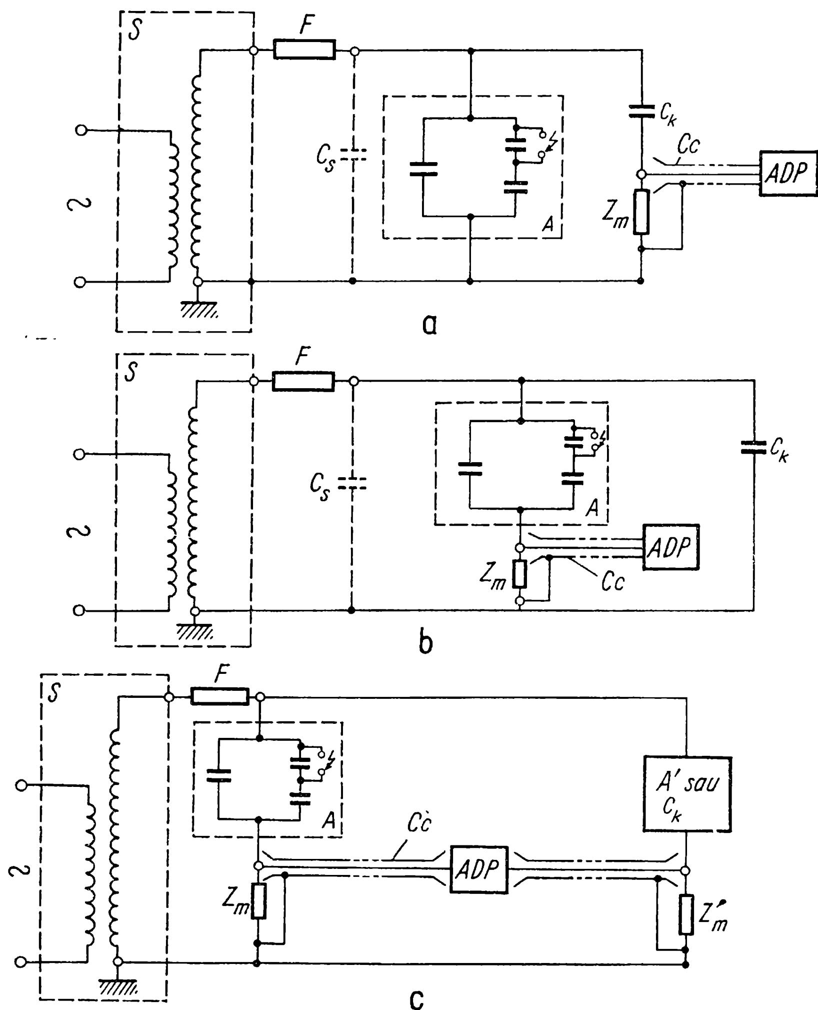


Fig. 3.18. Scheme de bază directe (*a* și *b*) sau în punte (*c*) pentru măsurarea intensității descărcărilor parțiale:

S — sursa de înaltă tensiune; *A* — aparat de încercat; C_k — condensator de cuplaj; Z_m — impendanță de măsură; C_c — cablu coaxial; *ADP* — aparat de măsurat descărcările parțiale; *F* — filtru; *A'* — aparat de referință.

lizează cînd obiectul de încercat absoarbe un curent prea mare şi ar fi nedorit ca acest curent să treacă prin impedanţa de măsurare. Această impedanţă constă dintr-un şunt ohmic cu capacităţi parazite (adică un şunt *RC*) sau chiar dintr-un circuit oscilant amortizat.

În combinaţie cu obiectul de încercat şi cu condensatorul de cuplaj această impedanţă predetermină atît durata cît şi forma impulsurilor măsurate.

De obicei, valoarea impedanţei Z_m se alege astfel ca să filtreze componenta de joasă frecvenţă a curentului care străbate ramura respectivă a schemei de încercare.

Filtrul *F* trebuie să aibă o caracteristică de frecvenţă potrivită pentru domeniul de măsurare utilizat.

Schema din fig. 3.18, *a* este mai simplă, deoarece obiectul de încercat în acest caz se racordează direct pe borna de înaltă tensiune a instalaţiei fixe de măsurare a intensităţii descărcărilor parţiale (constînd din sursă, condensator de cuplaj şi filtru). În această schemă este necesară o filtrare pretenţioasă a semnalelor parazite care provin din circuitul de alimentare şi de la sursa de înaltă tensiune.

În schema din fig. 3.18, *b* obiectul de încercat trebuie să fie izolat faţă de pămînt. În această schemă influenţa semnalelor parazite este mai redusă.

Astfel, de exemplu, dacă capacitatea condensatorului de cuplaj C_k este considerabil mai mare (cu un ordin de mărime) decît capacitatea obiectului de încercat C_A, atunci semnalele parazite se atenuează în proporţie de C_A/C_k Uneori se folosesc scheme din care se omite capacitatea condensatorului de cuplaj ($C_k = 0$). Aceste scheme dau rezultate, dacă capacitatea parazită a conexiunilor de înaltă tensiune C_S este mult mai mare decît capacitatea obiectului de încercat ($C_S/C_A \gg 1$) sau cînd capacitatea trecerii izolate a sursei *S* este de acelaşi ordin de mărime cu capacitatea C_A, presupunînd că impedanţa filtrului este mică ($Z_F \to 0$).

La aparatele de înaltă tensiune echipate cu treceri izolate de tip condensator se utilizează foarte comod o variantă a celor două scheme menţionate (vezi fig. 3.19).

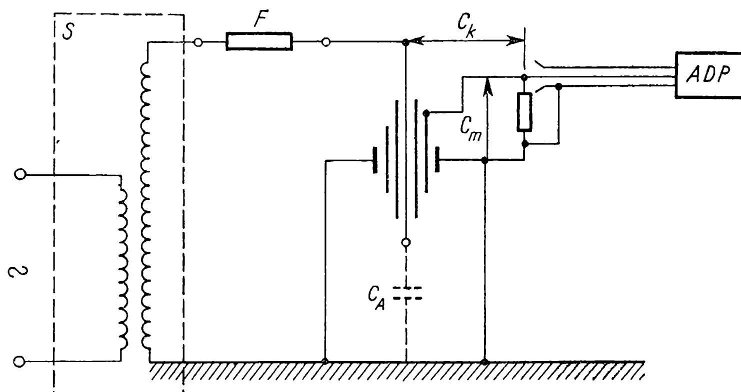


Fig. 3.19. Schema de încercare pentru măsurarea directă a intensităţii descărcărilor parţiale la aparate echipate cu treceri izolate tip condensator şi cu priză scoasă pentru măsurarea tgδ.

Schema din figura 3.18, *c* reprezintă o schemă simetrică (echilibrată sau în punte), în care atît obiectul de încercat, cît și obiectul de referință (sau condensatorul de cuplaj) sînt izolate față de pămînt. Capacitatea celor două ramuri de schemă nu trebuie să fie neapărat egale, dar cel puțin de același ordin de mărime, iar tangenta unghiului lor de pierderi dielectrice să fie cît mai apropiate.

În acest circuit de măsură perturbațiile exterioare pot fi reduse la o valoare minimă prin echilibrarea prealabilă a punții cu un semnal de înaltă frecvență aplicat între bornele de înaltă tensiune și pămînt prin reglarea corespunzătoare a impedanțelor de măsură Z_m și Z'_m, obținînd un dezechilibru minim posibil.

Reducerea semnalelor parazite este mai mare (pînă la 10 000 ori) dacă obiectele *A* și *A'* sînt identice și bine ecranate.

Aparatele de măsurat intensitatea descărcărilor parțiale *ADP* pot să controleze starea izolației în benzi înguste sau în bandă largă de frecvențe.

● Unele din aceste aparate sînt construite pentru măsurarea și/sau înregistrarea *impulsurilor individuale maxime* emise de la locul descărcării parțiale. Instrumentul de măsurat utilizat în acest scop poate să fie un oscilograf cu bază de timp liniară sau eliptică (variind în fază cu tensiunea aplicată), fie un aparat de măsurat a sarcinii electrice (voltmetru de vîrf etalonat în pC). Repartiția frecvenței de repetiție a unor impulsuri de amplitudine dată se poate investiga cu contoare de impulsuri. La măsurarea intensi-

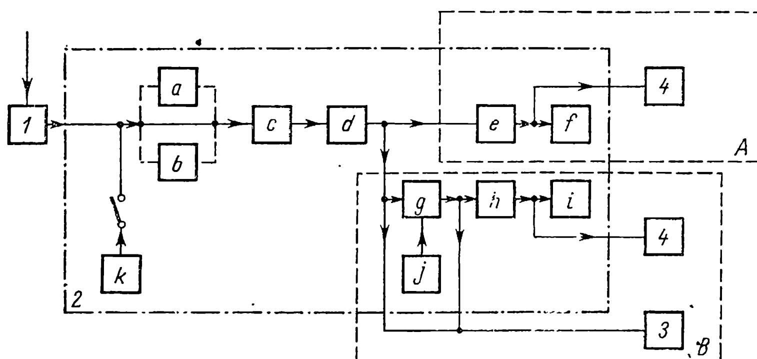


Fig. 3.20. Schema-bloc a aparatului de descărcări parțiale tip MUT-8 fabricat de firma TUR din Drezda realizat conform prevederilor din publicația CEI Nr. 270, avînd sensibilitatea 0,002 pC/div și banda de frecvență de la 20 kHz pînă la 1,5 MHz:

1 — impendanță de măsură; *A* — pentru măsurări de bandă îngustă; *B* — idem de bandă largă; *2* — aparat de măsurare a descărcărilor parțiale; *2a* — amplificator de bandă largă; *2b* — amplificator special; *2c* — selector de polaritate; *2d* — etaj de integrare; *2e* — bloc de selectare a impulsurilor după mărime; *2f* — indicator de impulsuri; *2g* — etaj sumator; *2h* — bloc de selectare a sarcinii maxime; *2i* — aparat de măsurat pentru sarcină maximă; *2j* — etaj de comandă; *2k* — generator de impuls pentru testare; *3* — oscilograf; *4* — aparat de înregistrare.

tății descărcărilor parțiale, în jurul valorii tensiunii de amorsare a descărcărilor, timpii de rezoluție sau constantele de timp ale aparatelor trebuie să fie suficient de mici pentru a nu comite erori la măsurarea valorii de vîrf a impulsurilor de durată relativ scurtă (100 μs și peste).

● Alte aparate de măsurat a intensității descărcărilor parțiale se bazează pe determinarea *frecvenței de repetiție a impulsurilor*, ca de exemplu, toate tipurile de contoare de impulsuri (indicînd numărul total de impulsuri) sau frecvențmetre de impulsuri (indicînd numărul de impulsuri într-o perioadă de timp dată). Aceste aparate conțin, de obicei, un discriminator care elimină impulsurile de mărime inferioară celui preselectat (chiar și acele impulsuri care provin din impulsul de bază dacă acesta are caracter oscilatoriu). Rezultă că un impuls este numărat o singură dată, indiferent de numărul de suboscilații componente. Alte tipuri de astfel de aparate lasă să treacă

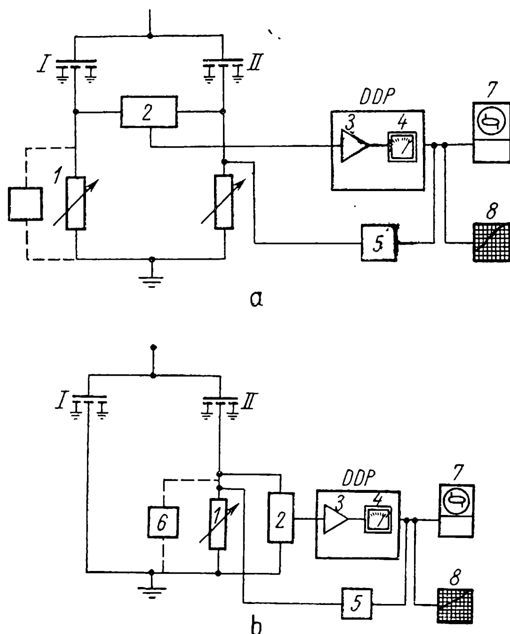


Fig. 3.21. Schemele de principiu ale instalațiilor de detectare a descărcărilor parțiale, a firmei NONIUS din Olanda:

a — scheme simetrice; *b* — scheme de măsurare directe; *I* — obiect de încercare Nr. 1; *II* — obiect de încercare Nr. 2 (sau condensator de cuplaj); *DDP* — detector de descărcări parțiale; *1* — brațul de măsură: *2* — circuit de intrare; *3* — amplificator; *4* — aparat indicator al sarcinii care se descarcă prin impulsuri *5* — bloc de marcare a fazei; *6* — circuit de calibrare; *7* — osciloscop; *8* — înregistrator.

numai impulsurile de o mărime dată, blocînd trecerea atît a impulsurilor de mărime inferioară cît și a celor superioare.

● O serie de aparate de măsurat a descărcărilor parțiale sînt specializate pentru măsurarea *valorii medii a curentului de descărcare*, conform ecuației

$$I_m = \frac{1}{T}(|q_1| + |q_2| + \dots + |q_m|), \tag{3.12}$$

care rezultă după o amplificare liniară și după redresarea sarcinilor electrice $q_1 \dots q_m$, care se descarcă prin impulsuri succesive în perioada de timp T.

În acest caz se iau măsuri speciale pentru evitarea erorilor mari de măsurare datorită saturației amplificatorului la frecvențe mici de repartiție a impulsurilor sau datorită suprapunerii impulsurilor oscilante la frecvențe mari de repetiție.

● Aparate mai perfecționate se construiesc pentru măsurarea *debitului pătratic al sarcinii electrice* definit conform expresiei

$$D = \frac{1}{T}(q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_m^2). \tag{3.13}$$

Impulsurile amplificate în acest caz sînt trecute printr-un bloc neliniar (de ridicare la pătrat), măsurînd componenta rezultantă de c.c. sau semnalul amplificat se detectează cu un traductor termic.

● Unele aparate de măsurat a descărcărilor parțiale sînt construite pentru evaluarea *puterii de descărcare* definită prin expresia

$$P = \frac{1}{T}(q_1U_1 + q_2U_2 + \dots + q_mU_m) \tag{3.14}$$

unde: $U_1, U_2, \dots, U_m$ sînt valorile instantanee ale tensiunii la bornele aparatului de încercat, în momentul descărcărilor $q_1, q_2, \dots, q_m$.

Aceste aparate, care în esență sînt punți electronice de înaltă frecvență, pot fi folosite numai pentru detectarea unor descărcări parțiale deosebit de intense.

● Aparatele convenționale de măsurare a *perturbațiilor radioelectrice* de asemenea pot fi utilizate la detectarea descărcărilor parțiale.

Indicația acestor aparate este deteminată de filtrele care asigură banda lor îngustă de trecere (de regulă 9 kHz), pentru un domeniu larg al frecvențelor, de un circuit de măsură avînd un timp de încărcare (constantă de timp de încărcare τ_1) și de descărcare (constantă de timp de descărcare τ_2) suficient de mic și de un instrument magnetoelectric, critic amortizat, cu o inerție mecanică (constantă de timp mecanică τ_3) adecvată măsurărilor specifice de cîmp.

Datorită destinației lor speciale, aceste aparate nu măsoară nici una din mărimile caracteristice convenite pe plan internațional pentru evaluarea intensității descărcărilor parțiale din izolație și anume: sarcină aparentă, frecvența de repetiție și energia de descărcare a impulsurilor singulare sau curentul mediu, debitul pătratic și puterea de descărcare a trenului de impulsuri.

Tensiunea citită pe scara acestui aparat în μV este determinată: atît de valoarea maximă a sarcinii q de descărcare, cît și de frecvența impulsurilor n. În cazul impulsurilor scurte și repetate cu aceeași secvență, această tensiune poate fi exprimată prin relația

$$U_{RP} \approx |q|\,\varphi(x)\,\Delta f\,Z_m k, \tag{3.15}$$

unde: φ este o funcție neliniară dependentă de frecvența de repetiție a impulsurilor (pentru aparatele construite după CISPR această dependență este dată de anexa 3 a Publicației CEI 270);
Δf — lățimea benzii de măsurare (de exemplu 9 kHz);
Z_m — impedanța, pur ohmică, de măsură;
k — coeficientul dependent de schema de încercare și de aparatul supus la probe.

Utilizarea aparatelor de radioperturbaţii pentru măsurarea intensităţii descărcărilor parţiale a făcut obiectul unor studii speciale şi în cadrul CISPR. Drept rezultat al acestor studii, Publicaţia 1 a CISPR a fost suplimentată cu Publicaţia 1A care conţine scheme şi metode de măsurare aplicabile şi în domeniul investigării izolaţiei echipamentului electric.

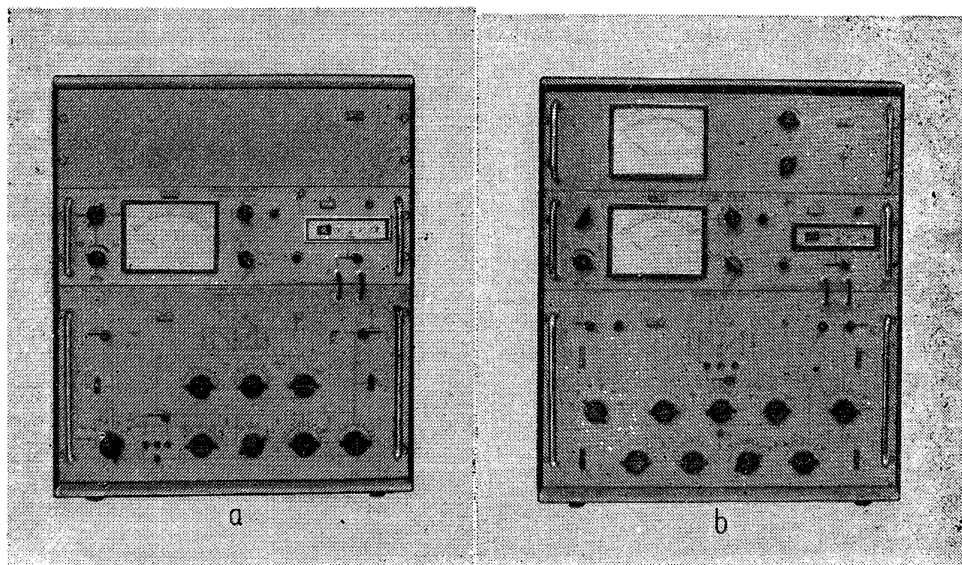


Fig. 3.22. Aspectul general a două aparate de măsurat a descărcărilor parţiale în punte (detectoare diferenţiale de DP) prevăzute cu (*b*) şi fără (*a*) voltmetru de impuls, dezvoltate de firma ENRAF-MONIUS Instrument Company în colaborare cu firma Netherlande Cable Works NKF din Olanda.

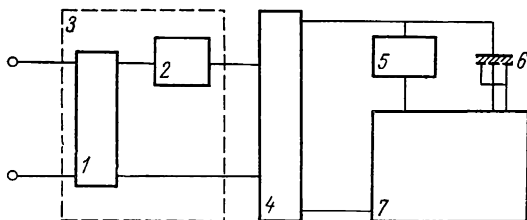


Fig. 3.23. Schema-bloc de detectare a descărcărilor parţiale cu ajutorul analizorului de pierderi dielectrice şi a energiei de descărcare a firmei AEI (Anglia):
1 — regulator de tensiune; *2* — filtru de armonici; *3* — bloc de reglaj şi de comandă; *4* — transformator de încercare; *5* — condensator etalon; *6* — aparat de încercare; *7* — analizor de pierderi dielectrice.

Pentru a obţine date concludente, măsurarea intensităţii descărcărilor parţiale din izolaţia echipamentului electric de înaltă tensiune trebuie să fie însoţită de etalonarea (calibrarea) atentă a aparatelor de măsurat (a aparatului *ADP*, luat „ca atare" şi a schemei de măsură în ansamblu) conform recomandărilor CEI (paragraful 5) şi de verificarea sensibilităţii minime impuse de aceeaşi recomandare (Anexa 3).

3.2.4. Încercarea izolației cu tensiune înaltă sinusoidală

Verificarea izolației aparatelor electrice la tensiuni înalte sinusoidale, pînă nu de mult, a fost o metodă practicată aproape exclusiv de fabricile constructoare de echipament electric, unde în laboratoare speciale de înaltă tensiune, aceste probe s-au efectuat chiar în cadrul încercărilor individuale la frecvență industrială. Ținînd cont de valoarea și caracterul convingător al experienței, în ultimul timp sistemele electroenergetice moderne se dotează și ele cu laboratoare similare fixe cu performanțele cele mai ridicate ca, de exemplu: laboratorul EdF de la Renardières (reprezentat în fig. 3.24) din Franța sau laboratorul Hydro-Quebec din Canada.

La echipamentul electric de tensiuni înalte și foarte înalte, transporturile în aceste laboratoare reprezintă dificultăți deosebite, motiv pentru care firmele de specialitate fabrică în momentul de față noi instalații de încercare motorizate (mobile), de performanțe ridicate. Astfel, de exemplu, firma Haefely din Elveția livrează pentru sistemele electroenergetice moderne o instalație de tensiune înaltă sinusoidală de 500 (2 × 250) kV, 250 kVA montată pe un trailer cu toate instalațiile anexe pentru efectuarea unor probe direct în stația de distribuție-transformare (fig. 3.25).

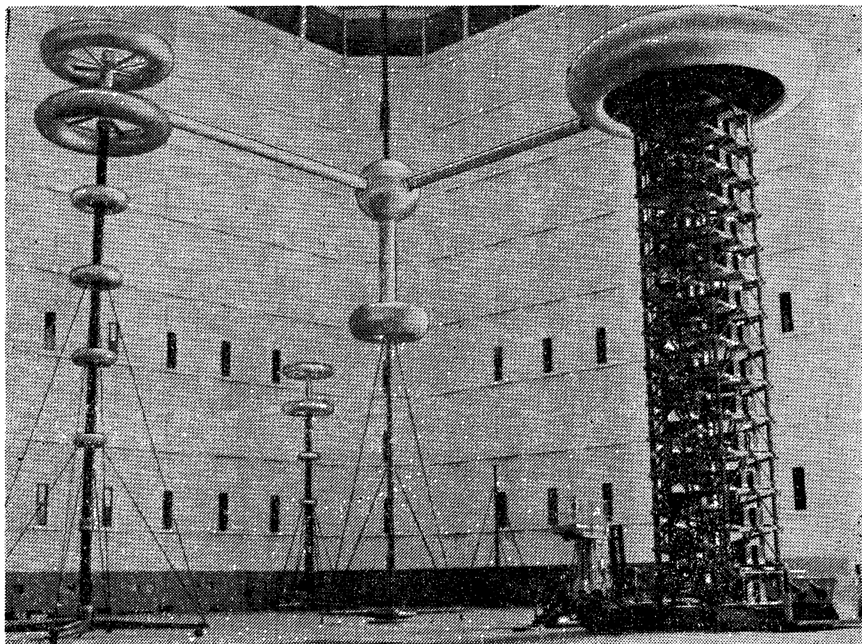
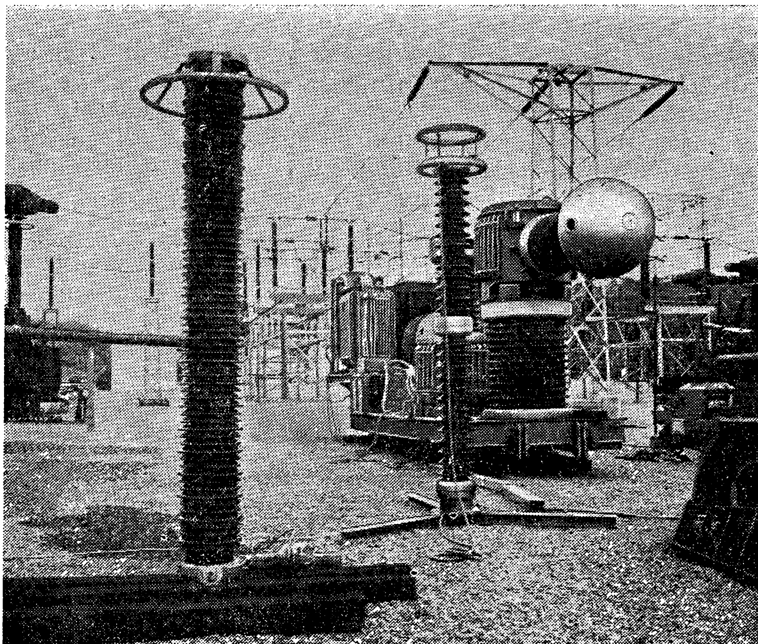
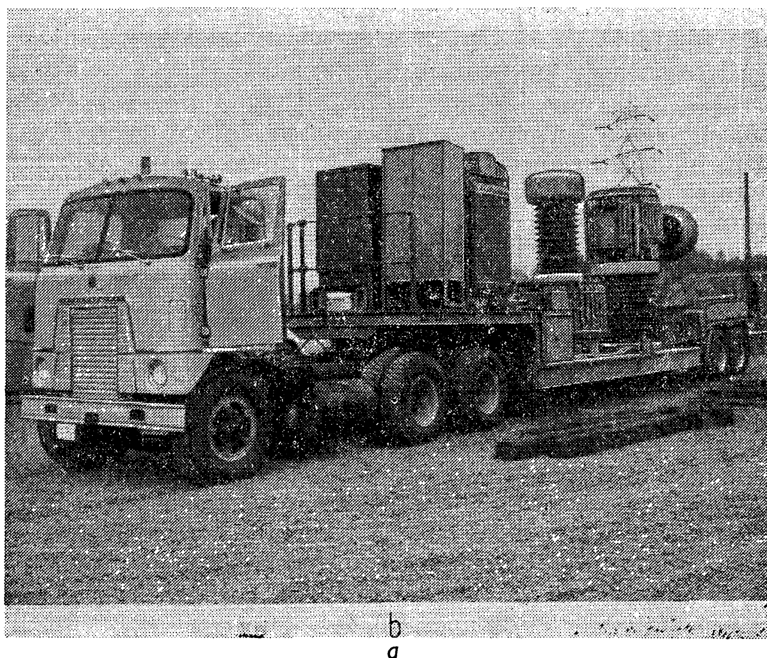


Fig. 3.24. Interiorul noului laborator de înaltă tensiune al sistemului electroenergetic francez (Electricité de France) de la Renardières, cu o instalație de impuls de 6 000 kV, 450 kJ și o instalație de tensiune sinusoidală de 1800 kV, 1 A (ultima nu se vede în figură).





b

a

Fig. 3.25. Instalaţia de încercare de 500 kV, 250 kVA, mobilă a firmei Haefely într-o staţie electrică (*a*) şi montată pe un trailer (*b*).

Instalaţia este compusă dintr-o cascadă de două transformatoare de 250 kV, (pentru a respecta gabaritul impus), dintr-un transformator de reglaj şi din aparatajul necesar de măsurat (divizoare, oscilografe, voltmetre pentru măsurarea valorii de vîrf etc) şi de automatizare. Trailerul nu este folosit decît pentru transportul instalaţiei pînă la staţia de destinaţie, unde instalaţia respectivă se depozitează pe un cadru metalic special.

3.2.4.1. Sursele de înaltă tensiune

În aceste laboratoare, staţionare sau mobile, diferitele aparate electrice de înaltă tensiune se supun la două tipuri de probe la tensiunea înaltă sinusoidală:

— la încercare cu tensiune aplicată (toate aparatele);

— la încercare cu tensiune indusă (aparatele care au în construcţia lor cel puţin două bobine cu cuplaj electromagnetic între ele).

În primul caz, tensiunea se obţine de la surse (transformatoare de înaltă tensiune) exterioare. Puterea necesară acestor surse se determină în funcţie de capacitatea obiectului de încercat cu ajutorul relaţiei

$$P_{SA} = 2\,\pi f U^2 C\ 10^{-9}\,[\mathrm{kVA}], \qquad (3.16)$$

unde: f este frecvenţa de alimentare a sursei, în Hz;

U — tensiunea de încercare, în kV;

C — capacitatea de sarcină, în pF, constînd din capacitatea proprie faţă de pămînt a sursei, capacitatea aparatului de încercat şi capacităţile parazite ale legăturilor de înaltă tensiune, ale ecranelor, ale eclatoarelor etc. Capacitatea aparatelor electrice poate să varieze în limite foarte mari, ca de exemplu:

— izolatoare de linie şi suporturi izolante	zeci de pF;
— treceri izolate	150 ... 250 pF;
— transformatoare de curent	200 ... 600 pF;
— condensatoare	100 ... pF ... cîţiva μF.

Rezultă că la încercarea aparatelor electrice de capacitate mare, sursele de înaltă tensiune ar trebui să fie dimensionate pentru puteri exagerate sau pentru frecvenţe diferite (fig. 3.26). O reducere sensibilă a puterii sursei în acest caz se poate obţine prin micşorarea frecvenţei tensiunii de alimentare (vezi fig. 3.26, *d*) dacă instalaţia de încercare permite acest lucru (dacă transformatorul de încercare se alimentează de la un grup convertizor de frecvenţă şi nu printr-un transformator sau autotransformator de reglaj).

În cel de-al doilea caz tensiunea de încercare indusă se poate obţine complet sau parţial chiar de la aparatul de încercat (de ex. în cazul transformatorului de tensiune). În acest caz, pe lîngă izolaţia principală a aparatului se verifică şi izolaţia longitudinală (izolaţia între spire, straturi, bobine etc.). În cazul cînd aparatul constă dintr-o singură bobină (de exemplu reac-

toare de şuntare), verificarea izolaţiei longitudinale ar necesita o sursă de putere foarte mare, definită prin relaţia

$$P_{SI} = \frac{1}{2\pi f} \frac{U^2}{L} 10^3 \text{ [kVA]}, \tag{3.17}$$

unde: U este tensiunea aplicată, în kV;
L — inductivitatea bobinei, în mH.

Rezultă că cu cît este mai mică inductivitatea L a aparatului cu atît creşte puterea absorbită de la sursă. Dintre aparatele analizate pînă în prezent se pretează la o verificare a izolaţiei longitudinale prin metoda tensiunii induse numai transformatoarele de măsură. Dintre acestea, inductivitate minimă au transformatoarele de curent, ca de exemplu:

— transformatoare de curent de 10 kV, 4,5 ... 6650 μH;
— transformatoare de curent de 35 kV, 3,5 ... 2 200 μH;
— transformatoare de curent de 110 kV, 3 ... 150 μH.

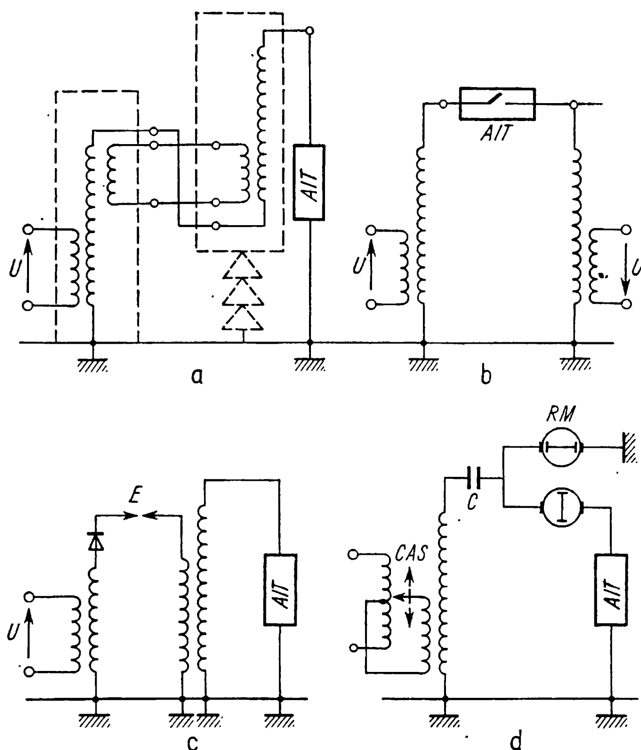


Fig. 3.26. Schema de producere a tensiunilor înalte sinusoidale şi de încercare a izolaţiei aparatelor electrice de înaltă tensiune (AIT):

a — de la o cascadă de transformatoare (la verificarea izolaţiei faţă de masă şi/sau între faze, *b* — de la două transformatoare conectate în opoziţie (la verificarea izolaţiei dintre contactele deschise); *c* — de la transformatorul Tesla pentru încercări la frecvenţă înaltă; *d* — de la o schemă cu modulare de frecvenţă pentru încercări la frecvenţă joasă; *E* — eclator; *CAS* — contact alunecător acţionat prin servomotor; *RM* — redresor mecanic.

Transformatoarele de tensiune au inductivități mari, dar numai pînă la atingerea cotului de saturație de pe curba de magnetizare, după care valoarea inductivității lor scade brusc și pot să absoarbă o putere de mii de ori mai mare ca în regim nesaturat. Și în acest caz reglarea frecvenței tensiunii de alimentare (ca, de exemplu, în schema din fig. 3.26, *c*) poate să micșoreze de cîteva ori puterea absorbită de la sursă, dacă această frecvență se mărește corespunzător.

Normele însă nu admit creșterea frecvenței în acest caz decît pînă la 400 ... 500 Hz, motiv pentru care validitatea probei în schema 3.26, *c*, se pune la îndoială. Dacă aparatul constă dintr-o singură bobină și fără miez de fier, atunci încercarea izolației principale și longitudinale se confundă într-o singură probă, aplicînd o tensiune mărită de frecvență crescută pe una din bornele aparatului, cealaltă bornă fiind legată la pămînt.

Puterea debitată de sursă se poate micșora și prin compensarea puterii reactive absorbite cu bobina de compensație *2* (în cazul încercării cu tensiune aplicată) sau condensatoare de compensație *2'* (în cazul încercării cu tensiune indusă), așa cum se vede din fig. 3.27.

Evident că pentru verificarea izolației și pentru determinarea tensiunilor de străpungere și de conturare a aparatelor de tensiuni inferioare sînt suficiente și pupitrele de înaltă tensiune, de genul arătat în fig. 3.28, caracteristicile cărora variază în limitele 2 ... 5 kVA, 3 ... 100 kV.

Verificarea izolației aparatelor de tensiuni inferioare nu este indicat să se facă de la surse de tensiuni prea înalte, dacă impedanța internă a sursei la tensiuni mult inferioare tensiunii nominale nu asigură curentul de scurtcircuit necesar pentru obținerea unor rezultate concludente. Din acest motiv experimentatorul trebuie să dispună de o gamă de surse corespunzătoare aparatelor investigate.

La încercarea izolației cu tensiune aplicată sau indusă, tensiunea sinusoidală se caracterizează prin: frecvență, sinusoidalitate (raportul dintre valoarea de vîrf și valoarea efectivă egal cu $\sqrt{2}$), simetria fazelor (dacă este cazul), durata și modul de aplicare a tensiunii, factor de supraoscilații etc.

Echipamentul instalației de încercare trebuie să satisfacă o serie de condiții de bază, dintre care unele sînt enumerate mai jos.

Curentul de scurtcircuit pe partea de înaltă tensiune trebuie să fie suficient pentru a produce un defect vizibil prin străpungerea izolației interne sau conturnarea celei externe, adică tensiunea de scurtcircuit u_k a transformatorului trebuie să fie suficient de mică. În normele românești de încercare, valoarea acestui curent nu este dată. Normele sovietice prevăd un curent de scurtcircuit stabilizat de cel puțin 0,1 A în cazul încercării izolației interne și a celei externe în stare uscată. La încercarea izolației externe sub ploaie, același curent de scurtcircuit nu trebuie să fie mai mic de 0,7 A.

Normele VDE prevăd ca puterea instalației de încercare să asigure un curent de scurtcircuit pe partea de înaltă tensiune de cel puțin trei ori mai mare decît curentul capacitiv al aparatului. Cu alte cuvinte, sursa de înaltă

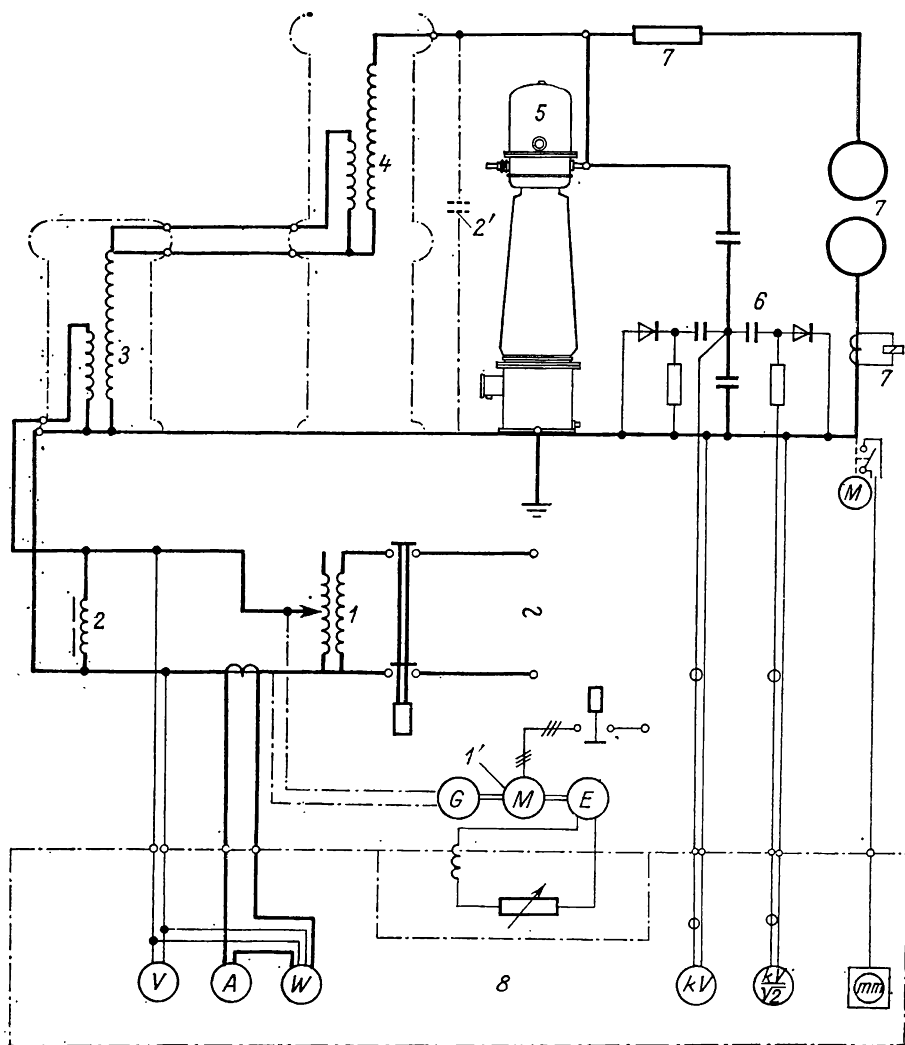


Fig. 3.27. Schema de principiu a unei instalaţii de încercări cu tensiune înaltă sinusoidală, în cascadă:

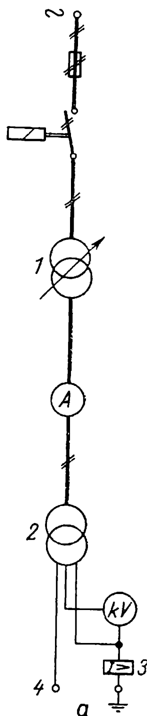
1 — transformator de reglaj (sau un grup convertizor 1'); *2* — bobine de compensaţie (sau condensator de compensaţie 2'); *3* — transformator de încercare în cascadă (prima treaptă); *4* — idem (treapta a doua); *5* — aparat de încercat (un transformator de curent); *6* — voltmetru de vîrf care indică şi vlaoarea efectivă a tensiunii; *7* — sfere de măsurare cu rezistenţe de amortizare şi dispozitiv de declanşare automată; *8* — pupitru de comandă.

tensiune trebuie să aibă o tensiune de scurtcircuit cît mai mică și curentul de scurtcircuit cît mai mare, conform interdependenței

$$I_{sc} = \frac{S_N}{U_N} \frac{100}{\varepsilon_{sc}} \text{ [A]} \tag{3.18}$$

unde: S_N este puterea nominală a sursei (transformatorului ridicător), în VA;
U_N — tensiunea nominală, în V;
ε_{sc} — tensiunea de scurtcircuit, în %.

În prezent se consideră că încercări concludente se pot obține numai dacă sursa de înaltă tensiune, în cazul străpungerii sau conturnării izolației, poate debita un curent de scurtcircuit de circa 1 A. Valorile mai mari ale curenților de scurtcircuit, de obicei, sînt limitate prin rezistențe ohmice (confecționate



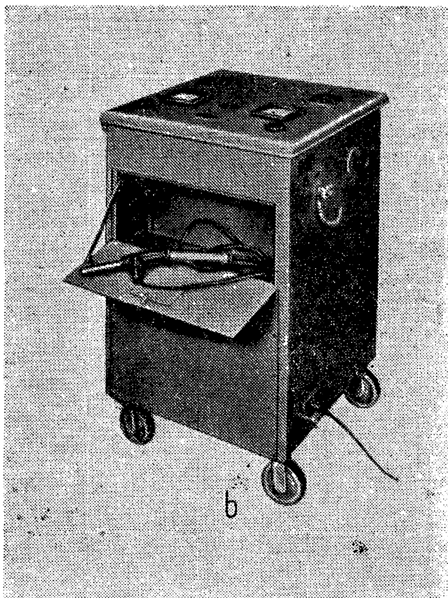


Fig. 3.28. Schema de principiu (*a*) și aspectul exterior (*b*) al instalațiilor de tensiuni înalte sinusoidale fabricate de firma TUR — Drezda, de tipul WPF:

1 — transformator de reglaj; *2* — transformator ridicător (de înaltă tensiune); *3* — releu maximal de curent; *4* — borna de înaltă tensiune.

din sîrmă rezistivă bobinată neinductiv sau din rezistență de apă), conectate în serie cu borna de înaltă tensiune a sursei. Valoarea acestei rezistențe se alege, în general de 1 Ω/V.

O astfel de rezistență nu limitează numai curentul de scurtcircuit al sursei, ci atenuează în mare măsură și oscilațiile de înaltă frecvență care au loc la

străpungerea și conturnarea izolației aparatului examinat sau la amorsarea eclatoarelor sferice. Evident că sursa trebuie să aibă nu numai o impedanță mică (un curent de scurtcircuit suficient de mare), dar și o capacitate de intrare mare, pentru evitarea atenuării semnalelor de descărcări parțiale față de cele corespunzătoare condițiilor naturale.

La încercarea aparatelor de capacitate mare poate să aibă loc o creștere a tensiunii datorită așa-numitului fenomen de *autoexcitație*. Acest fenomen își pierde însemnătatea, dacă curentul de magnetizare a transformatorului ridicător are o pondere suficient de mare în curentul total absorbit (ca, de exemplu, la transformatoare sau cascade de transformatoare cu circuit magnetic deschis).

În cazul utilizării transformatoarelor sau autotransformatoarelor reglabile (folosite în locul generatoarelor sincrone), din aceleași motive, se recomandă să se aleagă astfel tensiunea nominală secundară, încît tensiunea de încercare pe partea de înaltă tensiune să se obțină pentru o valoare a tensiunii de alimentare de cel puțin 50% din tensiunea nominală.

3.2.4.2. Instalații de măsurare a tensiunii

Tensiunea înaltă sinusoidală se măsoară cu transformatoare de tensiune, cu divizoare de tensiune, cu voltmetre electrostatice sau cu eclatoare sferice. Datorită preciziei lor mai mari se preferă divizoarele capacitive (eventual chiar și bornele de măsură a trecerilor izolate) cuplate la instalații de măsurare a valorii de vîrf a tensiunii aplicate sau induse.

Transformatorul de tensiune are dezavantajul că eroarea lui de măsurare (cu precizie de 0,2 ... 0,5%) este garantată în limite strînse (de la 0,8 pînă la 1,2 U_N).

Divizoarele de tensiune ohmice, care sînt utilizate pe scară largă pentru măsurarea tensiunilor înalte continue (redresate), nu dau rezultate satisfăcătoare în curent alternativ din cauza erorilor care au loc datorită curenților transversali, prin capacitățile parazite ale divizorului. Rezultate bune se pot obține, în schimb, cu divizoarele capacitive la care se compensează pierderile de curenți printr-o ecranare potrivită.

Voltmetrele electrostatice se folosesc la măsurarea valorii efective a tensiunii sinusoidale nu prea înalte (sute kV).

Măsurarea tensiunii înalte sinusoidale cu eclatoare sferice asigură o precizie relativ mică (3 ... 5%), dar se bucură de o mare popularitate în rîndul recepționerilor. Măsurarea tensiunii în acest caz se face prin apropierea sferelor pînă la străpungerea intervalului și constă în determinarea valorii de vîrf a tensiunii de descărcare corespunzătoare a distanței de eclatare. Valorile găsite în tabele trebuie să fie corectate la temperatura θ și presiunea atmosferică b din timpul efectuării probelor, cu ajutorul relațiilor:

$$U = \delta U_t \tag{3.19}$$

și

$$\delta = \frac{b_a}{760}\frac{273+20}{273+\theta} = 0{,}386\frac{b_a}{273+\theta} \qquad (3.20)$$

unde: U_t este tensiunea de străpungere, în kV, găsită în tabele;
b_a — presiunea atmosferică, în torri;
θ — temperatura mediului ambiant în °C.
În unitățile SI relația 3.20 se va scrie în următoarea formă

$$\delta = \frac{293}{1{,}013 \cdot 10^5}\frac{p_a}{T}, \qquad (3.20\ a)$$

unde p_a se exprimă în N/m², iar T în °K.
Trebuie menționat că conținutul de umezeală a aerului practic nu modifică tensiunea de străpungere a eclatoarelor sferice, dar modifică tensiunea de conturnare a diferitelor structuri izolante în aer, utilizate în construcția aparatelor electrice de înaltă tensiune.

Tensiunea, în principiu, se poate măsura în trei locuri: în înfășurarea de tensiune mai joasă a transformatorului ridicător; printr-o înfășurare specială (terțiară) de măsură sau direct în circuitul de înaltă tensiune.

Tensiunea măsurată în înfășurarea de tensiune mai joasă (de alimentare) cuprinde căderile de tensiune în înfășurarea primară și secundară a transformatorului de încercare datorită curentului de sarcină și căderea de tensiune în înfășurarea primară datorită curentului de magnetizare, motiv pentru care din această măsurare se aproximează tensiunea de încercare cu cea mai mare eroare.

Măsurarea tensiunii pe borna unei înfășurări de măsură (specială) evită căderile de tensiune în înfășurarea primară datorită curenților de sarcină și datorită curentului de magnetizare, dar conține încă totuși eroarea provenită din cauza căderii de tensiune în înfășurarea de înaltă tensiune datorită curentului de sarcină.

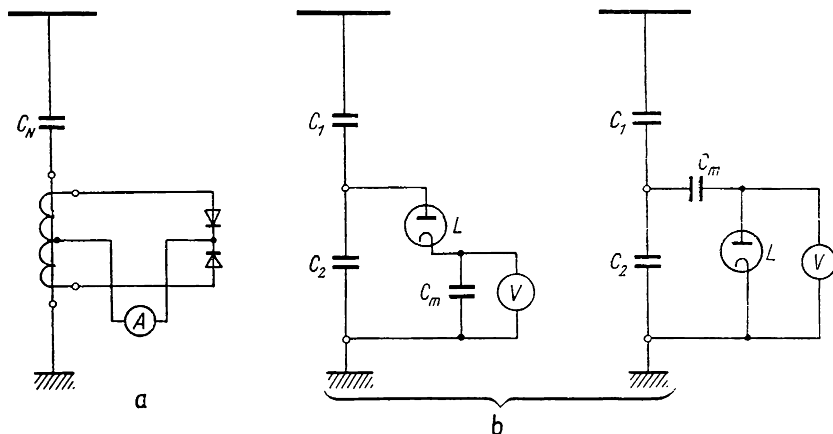


Fig. 3.29. Scheme de principiu folosite la măsurarea valorii medii (*a*) și a valorii de vîrf (*b*) a tensiunii înalte sinusoidale:
L — lampă redresoare; C_m — condensator de memorare a sarcinii electrice; *V* — voltmetru electrostatic.

Cea mai exactă măsurare se obține prin determinarea tensiunii de încercare de pe bornele obiectului de încercat cu divizoare capacitive. În acest caz, se utilizează două scheme de bază, reprezentate în fig. 3.29.

În schema din fig. 3.29, *a* se măsoară valoarea medie a curentului de încărcare a capacității C_N, iar în fig. 3.29, *b* se determină valoarea de vîrf a tensiunii care apare pe bornele condensatorului C_m.

3.2.4.3. Efectuarea probei și interpretarea rezultatelor

Atît încercarea cu tensiune aplicată, cît și cea cu tensiune indusă este recomandabil să se facă combinat cu măsurarea (înregistrarea) descărcărilor parțiale, conform celor indicate la § 3.2.3. În aceste condiții, se pot trage concluzii privind nivelul și nocivitatea descărcărilor.

În lipsa condițiilor de efectuare a unor astfel de probe, se consideră că aparatul a trecut cu succes încercarea, dacă descărcările interne nu se remarcă pe cale auditivă, tensiunea primară a sursei nu oscilează la voltmetru și dacă după probă nu se constată încălziri locale inexplicabile în izolație.

La încercarea combinată cu măsurarea descărcărilor parțiale, tensiunea aplicată sau indusă în aparatul de încercat trebuie să fie inferioară tensiunii de ionizare determinată cu ajutorul curbei tg $\delta = f(U)$. Reglarea tensiunii la valoarea necesară încercării se face în mod diferit, în funcție de aparatele și dispozitivele de măsurare utilizate. Astfel, de exemplu, dacă pentru măsurarea tensiunii înalte se utilizează eclatoare sferice, atunci în prealabil se ridică o curbă de etalonare de tipul $U_1 = f(U_2)$, unde U_1 — este tensiunea de amorsare a eclatorului și U_2 — tensiunea de alimentare corespunzătoare. Curba se obține cel puțin din trei puncte, aflate în limitele 50 ... 80% din tensiunea de încercare, cu obiectul de încercat racordat. În schimb, în cazul utilizării voltmetrelor electrostatice, a instalațiilor de măsurare continuă a valorilor de vîrf sau în cazul folosirii transformatoarelor de tensiune, reglarea tensiunii se face direct, fără etalonări prealabile.

Dacă încercările izolației externe în stare uscată se efectuează în condiții diferite de cele de referință (20°C, 760 torri, 11 g/m³) tensiunea de încercare normalizată se corectează cu densitatea și umiditatea aerului, conform, relației

$$U_i = U_0 \frac{\delta}{k}, \tag{3.20 b}$$

în care: *k* este un coeficient de corecție dependent de umiditatea absolută a aerului.

Tensiunea de încercare se corectează și în cazul verificării izolației externe a aparatului în stare umedă (sub ploaie), cînd expresia corespunzătoare va fi următoarea:

$$U_{ip} = U_0 \frac{760 + p_a}{1\,520}, \tag{3.20 c}$$

sau în unități SI,

$$U_{ip} = U_0 \frac{1{,}013 \cdot 10^5 + p_a}{2{,}026 \cdot 10^5}. \tag{3.20 d}$$

Tensiunea de încercare se aplică izolației externe și interne:

— între fază și pămînt (în poziția închisă, dacă aparatul de încercat este un întreruptor, separator etc.);
— între faze vecine;
— între polii aceleeași faze (în poziție deschisă, dacă aparatul de încercat este un aparat de comutație).

În cazul aparatelor cu izolație internă parțial gradată, ca de exemplu la unele tipuri de transformatoare de tensiune, încercarea izolației bornelor poate să pună probleme dificile de potențializare (ca de exemplu, în cazul transformatoarelor tip TTMU-2-35 examinate în cap. 12).

Încercarea izolației longitudinale (între spire, straturi, galeți, bobine) cu tensiune indusă are sens numai în cazul transformatoarelor de măsură și se realizează conform indicațiilor din cap. 12.

Criteriile de defectare a izolației sînt aceleași atît la proba cu tensiune aplicată cît și cu cea indusă: absența în timpul încercării a unor străpungeri sau conturnări observabile vizual sau auditiv, indicații anormale ale instrumentelor de măsurat sau de înregistrare (dacă acestea există), ori alte indicații certe. La această încercare are sens să se controleze și forma curbei de tensiune cu un oscilograf sau cu un voltmetru de valoare efectivă.

La ambele tipuri de încercări (încercări cu tensiune aplicată și indusă) se aplică brusc o tensiune inițială de cel mult 50% din tensiunea de încercare și apoi tensiunea se ridică în mod continuu sau în trepte de maximum 5% pînă la nivelul dorit, în cel puțin 10 s și în cel mult 30 s.

La evaluarea tensiunilor de străpungere a distanțelor de izolație de aer (și inclusiv a eclatoarelor sferice) tensiunile măsurate sau obținute din tabele trebuie raportate la condițiile atmosferice normale (20°C, 760 torri, 11 g/m^3) conform indicațiilor din standarde și recomandări și din literatura de specialitate (de exemplu, conform celor indicate în [1]).

Pentru controlul profilactic al stării izolației aparatelor electrice, în ultimul timp pentru cercetări defectoscopice se utilizează metoda înregistrării sumei curenților unui sistem trifazat, care străbat izolația a trei aparate identice (sau trei faze) supuse la tensiunile simetrice ale fazelor. Dacă izolația aparatelor respective este fără defect (capacitățile și rezistențele de scăpări egale), curentul care trece prin aparatul de măsurat (suma celor trei curenți de fază) va fi egal cu zero. La apariția defectului, curentul de dezechilibru, chiar de valoare foarte mică, este semnalat de aparatul însumator ales cu sensibilitate corespunzătoare. Aparatul indicator este un milivoltmetru selectiv conectat la borna șuntului de măsură, prin care se leagă la pămînt armăturile metalice ale aparatelor de comutație sau înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent cu care se conectează în serie rezistențe reglabile de simetrizare sau de echilibrare.

3.3. Încercarea izolației cu tensiune înaltă de impuls

Aparatele electrice de înaltă tensiune sînt supuse la trei tipuri de încercări cu tensiunea înaltă de impuls:

— la încercare cu undă de impuls plină;

a

b

Fig. 3.30. Schema de principiu a unei instalații de impuls de tensiune (*a*) și aspectul general al unui generator de impuls mobil în mediu de hexafluorură de sulf (*b*) (în drum spre stația electrică):

1 — transformator de izolare; *2* — transformator de reglaj; *3* — transformator de redresare; *4* — redresoare uscate; *5* — divizor de tensiune; *6* — trigger și bloc de amorsare; *7* — servomotor de reglaj al distanței dintre sferele de înseriere; *8* — generator de impuls de tensiune; *9* — scurtcircuitor de legare la pămînt; *10* — divizor ohmic de tensiune; *11* — aparatul de încercat (transformator de tensiune); *12* — sfere de măsură; *13* — calotă sferică cu bloc de amorsare pentru unda tăiată; *14* — servomotor pentru reglarea distanței dintre sferele de măsură; *15* — oscilograf catodic; *16* — schemă de înregistrare a defectogramei; *17* — pupitru de comandă.

— la încercarea cu undă de impuls tăiată (pe frontul sau pe spatele undei);
— la încercare cu undă de supratensiune de comutație (undă aperiodică lungă sau undă oscilantă).

În primele două cazuri tensiunea se obține de la generatoare de impuls speciale (GIT). În cel de-al treilea caz, unda de supratensiune de comutație (STC) se poate obține fie de la generatoare de impuls, fie de la instalații de înaltă tensiune sinusoidală prin modificări sau completări corespunzătoare.

În fig. 3.30 se dă schema de principiu a unei astfel de instalații de impuls, care poate să fie de laborator (deplasabilă pe șină de cale ferată sau pe pernă de aer) sau mobilă (instalată pe un mijloc de transport). Varianta motorizată se realizează în mediu de hexafluorură de sulf (SF_6) pentru a obține gabarite și greutăți minime, ca de exemplu cea din fig. 3.30 b, realizată de firma Haefely.

3.3.1. Condiții impuse generatorului de impuls

În practică se utilizează pe scară largă generatoarele de impuls realizate după schema lui Marx, bazate pe încărcarea condensatoarelor legate în paralel (perioada de încărcare a GIT) și pe descărcarea lor în serie.

Între tensiunea de ieșire a unor astfel de instalații în sarcină U_S și în gol U_0, în cazul undei convenționale 1,2/50 μs, există o relație aproximativă

$$U_S \approx U_0\left(0{,}95 - \frac{C_\Sigma}{C_\Sigma + C_{șoc}}\right) \tag{3.21}$$

unde: U_s este valoarea de vîrf a tensiunii de impuls care se obține de la o instalație dată, în sarcină;
U_0 — tensiunea obținută prin înserierea etajelor generatorului de impuls în gol;
C_Σ — capacitatea de șoc a aparatului de încercat și capacitatea parazită a instalației (care poate să fie de ordinul sutelor de pF);
$C_{șoc}$ — capacitatea de șoc a generatorului de impuls, în pF.

Pentru aparatele de înaltă tensiune care reprezintă o capacitate pură, este necesar să se respecte relația

$$C_{șoc} \geqslant 5\, C_\Sigma. \tag{3.22}$$

În cazul aparatelor care reprezintă o inductivitatea, pentru evitarea unor supraoscilații inadmisibile trebuie ca

$$C_{șoc} \geqslant 8\,\frac{T_2}{L} \tag{3.23}$$

unde: $C_{șoc}$ reprezintă în acest caz capacitatea de șoc minimă a generatorului de impuls, în pF;
T_2 — durata semiaplitudinii undei, în μs;
L — inductivitatea aparatului încercat, în H.

Aşa cum se vede din relaţiile anterioare, posibilitatea efectuării unei probe de impuls este determinată de capacitatea de şoc a generatorului de impuls. În practică însă rareori se dă această caracteristică importantă şi în locul ei se cunoaşte energia generatorului de impuls. În astfel de cazuri capacitatea de şoc trebuie să fie calculată cu ajutorul relaţiei

$$C_{şoc} = 2 \cdot 10^9 \frac{W}{U_0^2} \text{ [pF]} \tag{3.24}$$

unde: W este energia acumulată la tensiunea de încercare, în kWs;
U_0 — tensiunea în kV;

Valoarea tensiunii de impuls se reglează prin modificarea distanţei dintre sferele de înseriere a etajelor. Frecvenţa de autoamorsare a generatorului se reglează prin varierea tensiunii înalte redresate, cu care se încarcă etajele generatorului, legate în paralel.

Sursa de înaltă tensiune (generatorul de impuls) şi în acest caz trebuie să furnizeze o tensiune cu toleranţe strînse pentru: durata convenţională a frunţii şi a semiamplitudinii undei ($\pm$ 30 respectiv $\pm$ 20%), pentru panta de tăiere a undei pe front sau pe spate, pentru coeficientul de suboscilaţie şi pentru perioada oscilaţiei după tăiere etc., specificate în norme. În afară de acestea, normele reglementează numărul şi ordinea de aplicare a impulsurilor de polarităţi diferite.

3.3.2. Instalaţii de măsurare a tensiunii de impuls

Tensiunea de impuls se determină cu eclatoare sferice de măsură sau chiar cu eclatoare de înseriere a etajelor şi cu voltmetre de impuls.

La măsurarea tensiunii de impuls cu eclatoare sferice, distanţa dintre sferele de măsură şi obiectele metalice adiacente trebuie să fie de cel puţin 3—4 D (unde D este diametrul sferei). Pentru a se încadra în eroarea de $\pm$ 3%, sferele nu trebuie să fie îndepărtate la o distanţă mai mare de 0,5 D. Respectînd chiar şi aceste condiţii, eroarea de măsură a sferelor poate să depăşească 3%, dacă forma undei nu este cea standardizată (de exemplu 1,2/50 μs), ci oscilantă. La măsurarea unor tensiuni mici de impuls (valori sub 50 kV), indiferent de diametru sferei, pentru obţinerea unei precizii corespunzătoare este necesară o iradiere a intervalului de eclatare (cu un preparat radioactiv sau cu raze ultraviolete). Iradierea este de asemenea necesară la măsurarea oricărei tensiuni, dacă eclatorul sferic are diametrul egal sau mai mic de 12,5 cm. Se menţionează că valorile date în tabele, în cazul măsurării tensiunilor de impuls, se referă la tensiunile de 50% amorsări (se aplică 20 şocuri).

În ultimul timp, la măsurarea tensiunilor înalte de impuls, eclatoarele sferice au fost eliminate pe scară largă de voltmetrele de impuls, care permit citirea directă de pe scara aparatului a valorii de vîrf a undei de impuls.

Voltmetrul de impuls constă dintr-un divizor (capacitiv sau ohmic-capacitiv), cabluri de măsură şi un dispozitiv electronic de măsurare a sarcinii

corespunzătoare valorii maxime a tensiunii de impuls. Cele trei componente etalonate împreună, de obicei, sînt garantate pentru o precizie mai mare de măsură decît eclatoarele sferice (2,5%).

Fidelitatea înregistrării formei tensiunii de impuls se asigură prin utilizarea unor divizoare mixte, dintre care rezultate optime s-au obținut cu tipu-

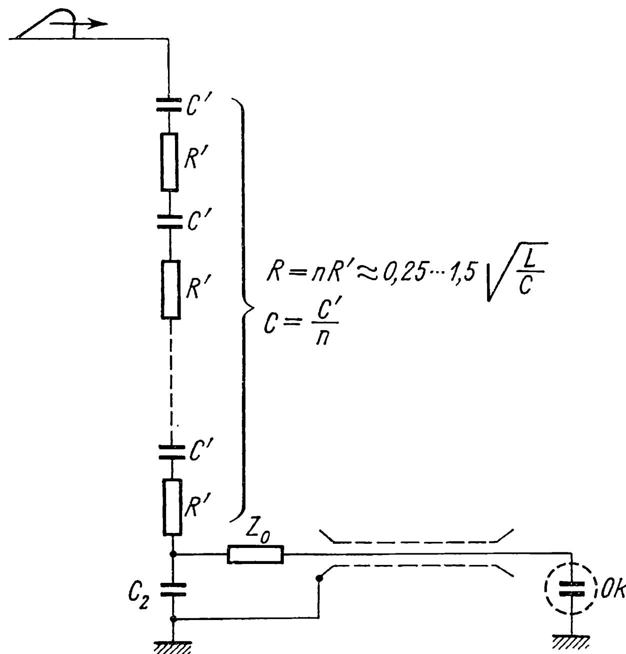


Fig. 3.31. Schema divizorului mixt, ohmic-capacitiv (în serie) a lui Zacngl și Fes:r pentru înregistrarea unor tensiuni de impuls rapid variabile:

L — inductivitatea totală a schemei de înregistrare; C — capacitatea totală a divizorului; R — rezistența totală de amortizare; Z_0 — impendanță caracteristică a cablului; R', C' — rezistența și capacitatea elementară a divizorului.

rile ohmice-capacitive la care condensatoarele elementare se înseriază cu elemente rezistive (fig. 3.31).

3.3.3. Efectuarea probelor și interpretarea rezultatelor obținute

La majoritatea aparatelor de înaltă tensiune verificarea tensiunii de ținere la impuls nu reprezintă un procedeu prea complicat; de obicei se aplică cinci șocuri pozitive și cinci negative. În cadrul unor investigații mai de fond, se aplică un număr mai mare de impulsuri în trepte crescătoare, înregistrînd oscilograma tensiunii aplicate (OTA), pînă la apariția unor oscilații de înaltă frecvență abia vizibile pe oscilogramă, în mod similar ca la transformatoarele de putere și de măsură. Treapta de tensiune respectivă se numește

pragul de ionizare de impuls. Dacă pragul de ionizare nu apare la $U_{\hat{\imath}nc}$ ($U_{\hat{\imath}nc}$ este tensiunea de încercare după norme), atunci proba se oprește și aparatul se consideră că a trecut cu succes încercarea.

Sînt și mai interesante probele duse mai departe, pînă la străpungerea sau conturnarea izolației, pentru stabilirea nivelului real de ținere, în cadrul cărora se determină tensiunile de 0%, 50% și 100% amorsări (sau curbele în formă de S). Pentru o astfel de investigație se sacrifică de obicei izolația mai multor aparate (dacă izolația care străpunge sau conturnează nu este autoregeneratoare).

În cadrul încercărilor profilactice a aparatelor cu izolația sensibilă față de acest gen de solicitare (izolația hîrtie-ulei, izolație de email etc.), tensiunea de încercare se limitează la 0,75 $U_{\hat{\imath}nc}$, iar numărul de șocuri pozitive și negative la 3 + 3. În cadrul probelor se verifică toate cele trei componente principale ale izolației aparatelor: izolația față de masă, izolație între faze și izolația dintre polii aceleeași faze (dacă acesta există).

La unele aparate însă verificarea izolației prezintă probleme deosebit de grele de rezolvat, în special în condițiile încercărilor de exploatare. Este vorba de încercarea și defectoscopia izolației transformatoarelor de măsură; a bobinelor de reactanță, a reactoarelor de șuntare, etc., unde defecte ascunse nedepistate la punerea în funcțiune pot să ducă la avarii importante ulterior. Importanța acestor genuri de încercări crește și datorită imposibilității diagnosticării izolației aparatelor enumerate mai sus cu alte tipuri de solicitare (ca de exemplu, tensiunea sinusoidală sau tensiune înaltă redresată), în special în ce privește verificarea izolației longitudinale.

Pentru defectoscopia izolației se utilizează de regulă schema de înregistrare a fenomenelor tranzistorii din fig. 3.32. Prin această schemă semnalul de defect U_d se recoltează de pe o sondă, antenă, șunt sau o înfășurare neîncercată.

Principalele elemente din schemă sînt: cablul coaxial, divizorul capacitiv, diferite rezistențe și circuitul de intrare al oscilografului catodic, acesta din urmă constînd dintr-o capacitate mică și o rezistență de scăpări mare a plăcilor R_0 (scurgerea sarcinii de pe plăci din acest motiv se poate neglija).

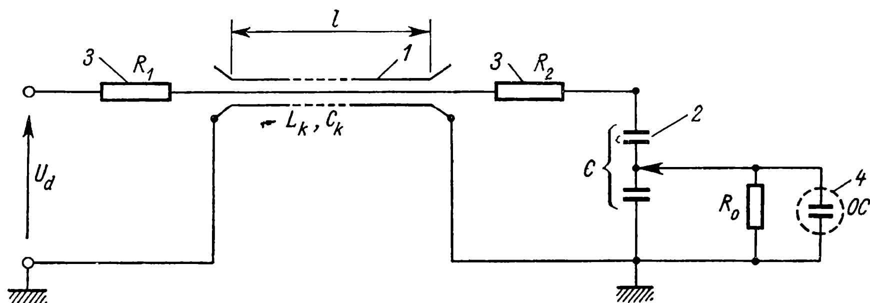


Fig. 3.32. Schema de înregistrare a fenomenelor tranzitorii folosită la defectoscopia izolației aparatelor electrice de înaltă tensiune la încercările de impuls:

1 — cablu coaxial cu impendanța caracteristică $Z_0 \approx \sqrt{L_k/C_k}$ și timp de întîrziere $\tau_k = l\sqrt{L_kC_k}$; *2* — divizor capacitiv de tensiune; *3* — rezistența de amortizare a fenomenelor de reflexie de la capătul cablului; *4* — oscilograf catodic; R_0 — rezistența de scurgere a sarcinii de pe plăcile oscilografului; U_d — semnal de defect.

În cazuri particulare, la cercetări defectoscopice pot lipsi și rezistențele de amortizare și de acordare R_1 și R_2 din schemă.

Capacitatea divizorului fiind foarte mică (de ordinul zecilor și eventual sutelor de pF) influența lui este redusă. Uneori paralel cu divizorul se conectează o capacitate suplimentară ΔC. Semnalul de impuls se transmite prin circuitul de înregistrare cu o atenuare a valorii de amplitudine și cu un defazaj corespunzător armonicii respective (din care se compune). Defazajul circuitului de înregistrare din punct de vedere al defectoscopiei de impuls bazată pe confruntarea defectogramei cu normograma, nu prezintă interes deosebit. În schimb, atenuarea diferitelor armonici componente ale spectrului fenomenului tranzitoriu (defectogramă) influențează în mod direct sensibilitatea metodei de defectoscopie aleasă. Rezistența R_2 din schema de înregistrare micșorează tensiunea U_{ex}. Reglînd valoarea lui R_2 se pot micșora vîrfurile caracteristicii de frecvență a schemei de înregistrare U_{ex}/U_{in}. Prin acest artificiu se poate micșora considerabil sensibilitatea schemei de defectoscopie față de semnalele parazite de înaltă frecvență.

Cînd se urmărește detectarea componentei de joasă frecvență și a componentei cvasistaționare a defectului și nu detectarea componentei de înaltă frecvență (în cazul defectului preexistent), este suficient să fie introdusă în schema de înregistrare numai o rezistență R_1 de valoare potrivită.

3.4. Prelucrarea probabilistică a datelor experimentale privind tensiunile de conturnare și de străpungere a izolației

Tensiunile de conturnare și de străpungere a izolației aparatelor electrice depind de foarte mulți factori. Astfel, de exemplu, tensiunea de străpungere a unei distanțe de izolație în aer depinde de felul solicitării (cu tensiune înaltă continuă, sinusoidală sau de impuls), de distanța dintre electrozi, de forma electrozilor (raze de curbură), de polaritatea electrozilor, de presiunea atmosferică, de temperatura aerului, de umezeala aerului și de durata solicitării. Tensiunea de străpungere a izolației lichide sau solide a aparatelor este influențată de majoritatea factorilor externi specificați mai sus și în plus de alți factori interni (impurități, alveole etc.), caracteristici fiecărei structuri izolante în parte. Dacă încercarea izolației se execută menținînd toți parametrii de mai sus în limite convenabile se va constata că tensiunile de străpungere și de conturnare vor avea o dispersie specifică, caracteristică fenomenelor aleatoare din natură. Dispersia datelor au loc în special la străpungerea izolației solide, neautoregenerativă, la care pentru fiecare probă trebuie să fie luată o altă mostră de izolație. Rezultatele probelor se reprezintă grafic, conform fig. 3.33. În fig. 3.33, *a*, pe ordonată este reprezentat procentajul descărcărilor care au avut loc la o tensiune mai mică decît cea indicată pe abscisă, obținînd în felul acesta curbe de distribuție în formă de S (evident numai în cazul că există date suficiente de măsurare).

Curba în formă de S, ilustrată în figură, reprezintă o distribuție normală (Gaussiană) dacă tensiunile de descărcare se înscriu în clopotul lui Gauss.

Funcția de densitate a probabilității în acest caz se exprimă prin relația [34]:

$$f(U_d) = \frac{1}{2\pi\sigma} e^{-\frac{(U_d - m)^2}{2[D]}} \qquad (3.25)$$

unde: U_d este tensiunea de descărcare (de străpungere sau de conturnare) dată în unități absolute sau relative;

$m = M(U_d)$ și $[D] = D(U_d)$ sînt parametrii caracteristici ai mărimii probabilistice (tensiunea de descărcare), reprezentînd speranța matematică (valoarea medie a tensiunilor de descărcare la un număr infinit de date) și dispersia datelor.

Funcția de densitate a probabilității se obține prin derivarea grafică a curbei din fig. 3.33, *a*. Curbele astfel obținute la străpungerea izolației în medii gazoase și lichide în general se confundă cu clopotul lui Gauss pentru un parametru m și $[D]$. În schimb izolația solidă nu respectă întotdeauna această repartiție: curba de densitate este asimetrică. În acest ultim caz curba de densitate se simetrizează cu o aproximație oarecare, iar dispersia datelor se calculează mai departe după metoda gaussiană. Valoarea de vîrf a curbei de densitate corespunde speranței matematice. Deoarece în cazurile practice nu se pot obține determinări foarte multe (un număr infinit de măsurări, corespunzătoare valorii speranței matematice) probabilitatea ca tensiunea de descărcare cea mai frecventă să fie egală cu cea determinată pentru valoarea medie a n măsurări, va fi egală cu

$$\mu = \sqrt{\frac{n-1}{n}}. \qquad (3.26)$$

Dispersia datelor în aceste condiții practice (dispersia practică) se va calcula cu relația

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (U_{di} - U_{dm})^2}{n-1}} = \frac{[D]}{\mu}, \qquad (3.27)$$

unde

$$U_{dm} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i}{n} \qquad (3.28)$$

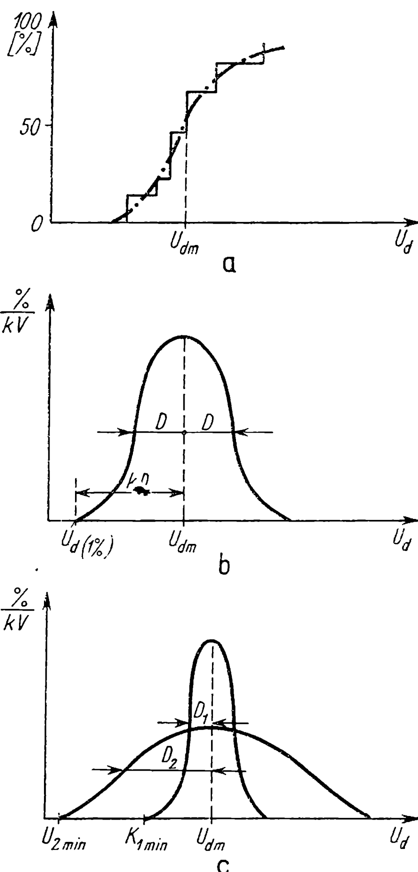


Fig. 3.33. Curba de distribuție normală (Gaussiană) a descărcărilor sau curba în formă de S (*a*) și curbele de densitate a probabilității sau clopotul lui Gauss (*b* și *c*) prin care se caracterizează dispersia datelor experimentale la încercarea izolației aparatelor electrice.

este valoarea medie aritmetică a tensiunii de descărcare, iar

$$[D]=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(U_{di}-U_{dm})^2}{n}} \tag{3.29}$$

este valoarea dispersiei reale care s-ar obține la măsurări practice dacă numărul de determinări s-ar apropia de infinit.

Dispersia datelor se poate determina și pe cale grafică, cunoscînd că ea este egală cu intervalul dintre punctul de inflexiune a curbei de densitate și valoarea medie a determinărilor (fig. 3.33, *b*).

La dimensionarea și la analiza comportării izolației se caută acea valoare a tensiunii de descărcare la care nu se produce, cu siguranță, conturnarea sau străpungerea intervalului izolant examinat. Deoarece curba de distribuție tinde asimptotic spre 0% și 100% descărcări, în cazurile practice se ia o probabilitate de 1% a amorsării. (Înseamnă că probabilitatea descărcării este mai mică sau egală cu 1% sau că probabilitatea ținerii izolației este mai mare sau egală cu 99%).

Limita tensiunii de descărcare, corespunzătoare probabilității de 1% va fi

$$[U_d]_{min}=U_{dm}-kD, \tag{3.30}$$

unde valoarea coeficientului k este funcție de numărul de măsurări și se determină din tabelul 3.3.

Tabelul 3.3

Factorii care determină lățimea benzilor de dispersie și numărul minim de măsurări necesare la încercarea izolației

n	k	σ max %	n	k	σ max %	n	k	σ max %
1	—	—	18	2,580	5,32	42	2,231	8,46
2	5,090	1,45	19	2,552	5,48	44	2,217	8,67
3	4,313	1,87	20	2,526	5,65	45	2,210	8,78
4	3,885	2,23	21	2,503	5,80	46	2,203	8,90
5	3,600	2,55	22	2,481	5,95	48	2,191	9,07
6	3,412	2,82	23	2,462	6,09	50	2,179	9,30
7	3,250	3,12	24	2,443	6,23	55	2,152	9,76
8	3,128	3,36	25	2,424	6,38	60	2,129	10,22
9	3,031	3,60	26	2,408	6,51	65	2,108	10,70
10	2,949	3,82	28	2,337	6,79	70	2,090	11,11
11	2,880	4,03	30	2,349	7,06	75	2,073	11,56
12	2,819	4,25	32	2,321	7,35	80	2,060	11,90
13	2,767	4,45	34	2,302	7,55	85	2,046	12,31
14	2,721	4,62	35	2,292	7,66	90	2,036	12,70
15	2,681	4,80	36	2,283	7,78	95	2,023	13,05
16	2,644	4,98	38	2,264	8,02	100	2,013	13,40
17	2,611	5,15	40	2,248	8,24	200	1,900	19,24

Numărul de determinări este satisfăcător dacă se respectă inegalitatea

$$\sigma = \frac{D}{U_{dm}} < \sigma_{max}, \tag{3.31}$$

unde σ_{max} este valoarea procentuală maximă a dispersiei în condițiile de probabilitate adoptate (1%), date în tabel.

Trebuie menționat că tensiunea de descărcare medie nu întotdeauna furnizează informații concludente. Se întîmplă, că deși U_{dm} la două structuri izolante este aceeași, dispersia lor se deosebește considerabil (vezi fig. 3.33, *c*). În aceste cazuri este obligatorie analiza mai atentă a dispersiei datelor experimentale și determinarea valorii minime a tensiunii de descărcare de 1% probabilitate.

3.5. Încercări speciale necesare verificării izolației aparatelor electrice din stații în condiții de poluare intensă

Nu demult, cercetările efectuate asupra fenomenului de poluare a izolației electrice externe în general și asupra mecanismului de producere a descărcărilor disruptive pe izolatoare în special, au arătat că raportul între linia de fugă și tensiunea de linie nu constituie o bază pe deplin satisfăcătoare pentru alegerea izolației, că acțiunea agenților contaminanți asupra instalațiilor electrice de tip exterior trebuie privită într-un cadru mult mai larg.

În acest sens, s-a dovedit că este necesar să se analizeze izolația externă în totalitate, atît a liniilor electrice aeriene de transport, cît și cea aferentă stațiilor electrice exterioare (adică a aparatajului și echipamentului electric) și să se acorde o atenție deosebită acțiunii agenților contaminanți asupra tuturor reperelor metalice ce intră în componența aparatelor electrice de exterior.

3.5.1. Metode de încercare utilizate în condițiile de laborator

Ca rezultat al unor eforturi comune, pe plan mondial s-au concretizat în ultimul timp o serie de metode de încercare de laborator a rezistenței aparatelor electrice în condițiile poluării intense a atmosferei.

Paralel cu aceste metode, s-au dezvoltat și metodele de încercare în mediul natural de poluare a aparatelor urmărindu-se, în standuri special amenajate în zone cu contaminare severă, comportarea în timp a diverselor tipuri de izolatoare și construcții de aparate (stațiile de încercări la poluare naturală de la Brighton — Anglia cu poluare maritimă-salină; din Recklinghausen — RFG cu poluare industrială; din Martigue — Franța cu poluare maritimă-salină; din Velsen — Belgia cu poluare combinată maritimă și industrială etc.).

În cîteva din țările cu industrie puternic dezvoltată, deci cu surse puternice de contaminare, s-au elaborat în timp diverse metode de încercare arti-

ficială a izolatoarelor de aparate (treceri izolate, suporturi izolante etc.) destinate să funcționeze în condiții de poluare, dintre care unele metode s-au pus la punct și au luat caracter de norme de fabrică sau chiar norme naționale (STAS 7377-73 Anexa 1, VDE 0448, GOST 10390, TGL 190-207 etc.) și recomandări internaționale (de exemplu Publicația 99-1 a CEI).

În România s-a elaborat în anul 1970 un proiect de normă internă la ICPE: „Metodă de încercare la contaminare cu ceață salină a izolatoarelor" pe baza metodei de încercare cu ceață salină adoptată de CIGRE și CEI. Aceasta este o metodă de încercare pentru studiul calității izolatoarelor din punct de vedere al capacității lor de funcționare în medii contaminate și se aplică izolatoarelor pentru linii, suporturilor izolante și trecerilor izolate destinate a fi folosite în instalațiile și echipamentele de curent alternativ la tensiuni de peste 1 kV.

Cel mai mare interes îl prezintă în acest domeniu proiectul de recomandări elaborat de Comitetul de Studii 36 al CEI — intitulat „Încercări de poluare artificială a izolatoarelor, pentru înaltă tensiune, destinate rețelelor de curent alternativ", (februarie 1971) și Anexa D a Publicației 99-1/1970 a CEI (descărcătoare).

Aceste norme se referă la încercările de poluare artificială aplicabile izolatoarelor pentru liniile electrice aeriene, izolatoarelor folosite în substații, trecerilor izolate și descărcătoarelor cu rezistențe variabile. Recomandările precizează că singurele metode de încercare acceptabile sînt acelea care prevăd ca tensiunea de încercare să fie menținută constantă timp de cel puțin cîteva minute. În acest sens, se remarcă faptul că metodele de încercare, care prevăd ca tensiunea de încercare să fie mărită treptat pînă la conturnare, nu sînt recomandate a se utiliza decît în anumite cazuri speciale.

Norma propune aplicarea a două metode de poluare artificială, metode a căror dezvoltare și aplicabilitate este recunoscută de cea mai mare parte a specialiștilor.

a. *Încercarea în ceață salină*, în care caz aparatul este supus la tensiunea de serviciu, fiind plasat într-o cameră de ceață salină, al cărei *procent de salinitate* predetermină severitatea probei (salinitatea de ținere, adică concentrația maximă a soluției saline pe care aparatul o poate suporta timp de 60 min).

Pentru aceste încercări se recomandă următoarele valori ale concentrației soluției saline 2,5; 3,5; 5; 7; 10; 14; 20; 28; 40; 56; 80; 112; 160; 224 g/l, debitul pulverizatoarelor standard fiind de 0,5l/min $\pm$ 10% și presiunea alimentării cu aer de 7 bari $\pm$ 4%.

b. *Metoda stratului poluant solid*, constă în aplicarea, prin cufundare sau pulverizare, a unui strat pe izolator sau pe aparat înaintea încercării; în care caz stratul poluant trebuie să aibă proprietatea de a reține umiditatea, iar reumezirea se execută fie prin acțiunea ceții, fie cu ajutorul apei pulverizate, *conductivitatea stratului* fiind aceea care predetermină severitatea încercării intreprinse (tabelul 3.4).

Chiar și norma menționează că diferențele între cele două categorii de încercări la poluare artificială și modul în care aceste încercări sînt capabile să reproducă fenomenele efectiv întîlnite în exploatare, trebuie echivalate cu rezultate ale încercărilor similare întreprinse în condiții de poluare naturală.

Tabelul 3.4

Conductivitate volumetrică în μ S/cm a amestecului de suspensie şi conductivitatea superficială a stratului umed în μ S în cazul utilizării metodei stratului poluant solid şi substanţele solide de poluare recomandate

Conductivitatea volumetrică a amestecului, μS/cm	750	1 500	3 000	6 000	12 000
Conductivitatea superficială a stratului umed, μS	2,5	5	10	20	40

Suspensia I	100 g kieselguhr 10 g SiO_2(dimensiunea particulelor 2...20/μS) 1000 g apă Observaţie: Conductivitatea se reglează cu $CaCl_2$
Suspensia II	40 g pudră de caolin 1000 g apă Observaţie: Conductivitatea se reglează cu NaCl
Suspensia III	30 g metilceluloză 25 g pudră de cretă 1000 g apă demineralizată Observaţie: Conductivitatea se reglează cu NaCl

Se remarcă, de asemenea, că validitatea fiecăreia din cele două categorii de încercări la poluare artificială este încă în curs de examinare. O anumită corelare a metodelor de încercare artificiale cu cele naturale a fost deja demonstrată între comportarea izolatoarelor utilizate în mediul de poluare naturală la malul mării şi acelea care au fost încercate la poluarea artificială sub ceaţă salină în condiţii de laborator.

Din punct de vedere al costurilor necesare pentru aplicarea uneia din cele două metode de încercare recomandate, se observă că practicarea metodei artificiale este încă destul de costisitoare, necesitînd folosirea unor echipamente scumpe şi de volum mare. Sursa de tensiune pentru încercări trebuie să fie de o putere relativ mare (5 ... 10 A), avînd un curent nominal superior celui care este cerut pentru alte tipuri de încercări asupra izolatoarelor. În afară de aceasta, încercarea sub ceaţă salină necesită existenţa unei camere rezistente la coroziune, duze de pulverizare adecvate şi un echipament de tratare şi preparare a apei sărate. De asemenea, încercarea cu strat de poluare solid cu umezire separată, reclamă existenţa unei camere de pulverizare, iar cea fără umezire suplimentară necesită în plus o cameră şi echipament de control al umidităţii.

În ceea ce priveşte timpul de încercare pentru încercarea sub ceaţă salină, timpul de preparare a izolatorului este relativ scurt, în schimb, durata de încercare este lungă; pentru celelalte două tipuri de încercare, timpul de preparare este lung, dar durata de încercare este mai scurtă.

3.5.2. Standuri naturale de supraveghere a izolației externe din stații. Metode și scheme de semnalare a pericolului de conturnare

Metodele descrise în cele ce urmează au fost inițial experimentate în condiții de laborator,pe machete de izolație și în condițiile unor medii contaminante care au variat în limite largi, acoperind tot domeniul de aplicație care poate să aibă loc în exploatare.

Aceste măsurări însă nu au dus la concluzii fără nici un echivoc, motiv pentru care a fost necesară organizarea unor platforme de încercare în aer liber (standuri naturale) și elaborarea unor metode de supraveghere (defectoscopie) corespunzătoare. Ideea acestor platforme este mai veche, fiind aplicată pentru prima oară în Anglia. Platforma de încercare a constat dintr-o serie de izolatoare de aparate montate ca în exploatare în zona respectivă cu contaminare intensă (în apropierea unei centrale termoelectrice, a unei fabrici de cocsificare a cărbunelui și a unui crematoriu de gunoaie) și două transformatoare ridicătoare de tensiune care au realizat 85 respectiv 250 kV față de pămînt (tensiunile de fază ale liniilor de 162 kV și 400 kV). Comportarea izolației s-a supravegheat în timp cu contoare de impulsuri, cu miliampermetre înregistratoare pentru controlul curentului de fugă și cu oscilografe, cu care din cînd în cînd s-a înregistrat variația acestui curent în timp.

Astfel de ștanduri naturale au fost organizate și în R. F. Germania, în special în regiunea Ruhrului, chiar pe teritoriul unei stații de transformare-distribuție de 110 kV care se află în apropierea mai multor uzine chimice metalurgice și a unei centrale termoelectrice. Platforma este cuplată și cu o stațiune meteorologică cu înregistratoare de presiune și umiditate a aerului, de temperatură, de vînt, de ploaie și precipitații, de praf și conținut de bioxid de sulf.

Un stand natural similar s-a organizat și în R.D.G., la Bőhlen pe teritoriul stației de distribuție de 110 kV alimentată dublu (direct de pe barele stației și de la un transformator special). Curenții de fugă s-au înregistrat de pe un șunt legat în serie cu izolatorul. Standul cuprinde toate genurile de montaj, izolatoarele din stația respectivă reprezentînd un model fidel al tuturor construcțiilor izolante din stațiile electrice din zone poluate.

În Polonia s-au pus în funcțiune două standuri naturale prin care se detectează comportarea izolației externe poluate, organizate similar ca cele din RDG. Aparatura de înregistrare semnalează în timp util dacă contaminarea izolației a atins valori periculoase (critice) și dacă este necesar se iau măsuri tehnico-organizatorice corespunzătoare pentru preîntîmpinarea avariei din stația învecinată (spălarea, ungerea izolatoarelor etc.).

În Ungaria s-au organizat de asemenea două standuri naturale (pe lîngă CTE din Matra cu contaminare granulară și pe lîngă CTE din Borsod cu contaminare electrolitică). Standurile respective sînt echipate în general similar ca ștandurile din RDG și R. P. Polonă, cu deosebirea că la înregistrarea curenților de fugă și a impulsurilor de descărcare de înaltă frecvență au fost folosite magnetofoane și scheme de înregistrare corespunzătoare.

Pentru a avea o rezervă corespunzătoare la diagnosticarea diferitelor tipuri de izolatoare, curenții de fugă au fost recoltați de pe inele de staniol prin

care s-au scurtcircuitat cîteva rile ale izolatorului analizat (pentru apariţia mai devreme a semnalului de defect).

După cîteva experimentări făcute cu transformatoarele ridicătoare speciale, dar de putere mică, experienţele au fost continuate cu tensiunea recoltată direct de la barele substaţiei învecinate, printr-un separator şi printr-un descărcător tubular, în interiorul căruia a fost amplasat în fir fuzibil. Contaminarea intensivă a suprafeţei descărcătorului a dus la puneri la pămînt nedorite. Din cauza acestei contaminări, care iese la iveală brusc abia după arderea fuzibilului (şi după restabilirea tensiunii pe electrozii descărcătorului tubular), trebuia renunţat la utilizarea descărcătorului, în schemă menţinînd numai firul fuzibil amplasat orizontal în aer liber.

Schema de înregistrare a curenţilor care străbat construcţia izolantă supusă la tensiunea înaltă de frecvenţă industrială este redată în fig. 3.34. Între armătura inferioară şi pămînt se introduce un şunt de măsurare. Căderea de tensiune de pe şunt este proporţională cu curentul care străbate izolatorul cercetat.

Aparatura de înregistrare se amplasează direct în camera de comandă a staţiei (centralei) respective, pentru controlul operativ al stării izolaţiei de către personalul de deservire.

Pentru evitarea propagării unor tensiuni înalte în camera de comandă (în caz de conturnare a izolatorului) cablul de măsurare este protejat cu un eclator de 500 ... 600 V, confecţionat din bare de aluminiu, de secţiune mare (40 mm^2). Amorsarea precisă a eclatorului la tensiunea respectivă se asigură prin înglobarea acestuia într-o carcasă de plexiglas, care protejează spaţiul de eclatare de praf şi de umiditate. Prin secţiunea corespunzătoare a electro-

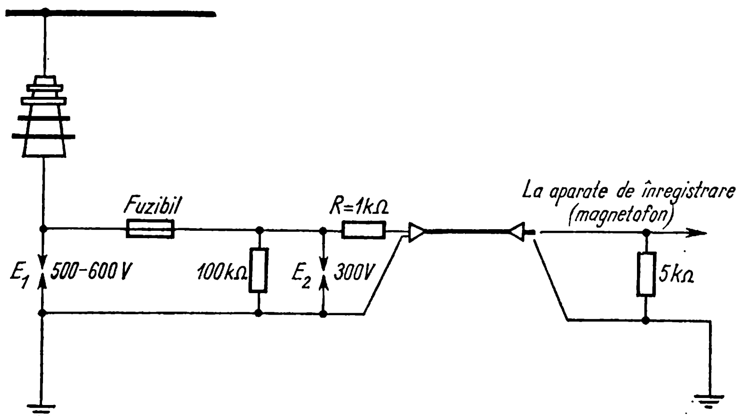


Fig. 3.34. Schema de înregistrare a impulsurilor curentului de fugă de pe izolaţia externă a aparatelor electrice. (după Băn G).

zilor se obţine o stabilitate termică şi dinamică suficientă a eclatorului în caz de conturnare a izolatorului respectiv.

Şuntul de măsurare este amplasat la capătul celălalt al cablului de măsurare, avînd o valoare de 5 kΩ. Pentru împiedicarea pătrunderii unor tensiuni prea mari la aparatele de înregistrare, la intrarea în cablu s-a montat un alt

şunt legat la pămînt de 100 kΩ. Siguranţa fuzibilă din schema de înregistrare are ca scop înlesnirea amorsării eclatorului exterior E_1 în cazul străpungerii intervenite în aparatura de înregistrare dacă eclatorul E_2 încă nu s-a amorsat.

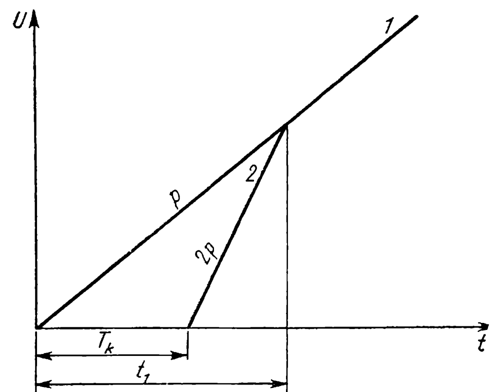


Fig. 3.35. Variaţia potenţialului la cele două capete ale cablului de măsurare:

1 — tensiunea la capătul de intrare al cablului; 2 — tensiunea la capătul de ieşire al cablului (la aparate de măsurat).

Protecţia personalului de deservire se realizează în felul următor: dacă curentul prin izolatorul aparatului creşte şi produce o cădere de tensiune periculoasă pe şuntul de măsurare pentru personalul de deservire, atunci se amorsează eclatorul E_2 şi prin aceasta se topeşte siguranţa fuzibilă şi se întrerupe legătura galvanică dintre aparatura de înregistrare şi izolatorul periclitat, făcînd totodată posibilă şi amorsarea eclatorului E_1. În cazul impulsurilor abrupte, instalaţia totuşi nu asigură o protecţie suficientă, deoarece undele călătoare propagate spre cablu şi reflexiile acestora vor exista avînd forma din fig. 3.35 (presupunînd că creşterea undei de impuls este liniară).

Momentul t_1, cînd tensiunile de la cele două capete ale cablului se egalează, este egal cu dublul timpului de parcurgere a lungimii cablului folosit pentru transmiterea informaţiei de la izolatorul studiat în camera de comandă a staţiei. În această perioadă de timp există pericolul străpungerii izolaţiei aparaturii de înregistrare, chiar dacă eclatorul E_2 se străpunge în timp util datorită reflexiei undei de impuls la capătul din camera de comandă. Împotriva acestui pericol se intercalează în schemă o rezistenţă $R \gg Z_k$, unde Z_k este impedanţa caracteristică a cablului (de ordinul zecilor de ohmi).

În acest caz, tensiunea de impuls crescîndă pe eclatorul E_2 cu o pantă p se repartizează pe rezistenţa R şi pe impedanţa caracteristică a cablului. În felul acesta panta tensiunii de impuls la intrare în cablu va fi

$$p_{\text{in}} = \frac{Z_k}{R + Z_k} p. \tag{3.32}$$

Panta la ieşirea din cablu (la aparatura de înregistrare) în consecinţă va fi de 2 ori mai mare

$$p_{\text{ex}} = \frac{2Z_k}{R + Z_k} p. \tag{3.33}$$

Respectînd condiţia $R \gg Z_k$, rezultă că tensiunea pe eclatorul E_2 va fi întotdeauna mai mare decît aceea care apare pe şuntul de măsurare la ieşirea din cablul de înregistrare a impulsurilor de înaltă frecvenţă.

Aparatura de înregistrare folosită în mod curent, compusă din: ampermetre înregistratoare, oscilografe magnetoelectrice sau contoare de impulsuri,

nu a dat satisfacţie suficientă la interpretarea rezultatelor obţinute în vederea determinării nocivităţii curenţilor de fugă de pe suprafaţa izolatoarelor (şi eventual din interiorul izolatorului). Din acest motiv, după investigaţii succesive, specialiştii unguri au ajuns la concluzia că pentru scopul propus corespunde în gradul cel mai înalt magnetofonul sau magnetoperturbograful.

După acest procedeu, semnalul de defect se înregistrează cu o viteză mică, iar analiza detaliilor se face ulterior, amplificînd în mod corespunzător semnalul de pe bandă şi baleindu-l cu viteză dorită pe ecranul unui oscilograf catodic.

Supravegherea mai multor construcţii izolante s-a putut obţine printr-o schemă de automatizare corespunzătoare, care funcţionează după următorul principiu: dacă la unul din izolatoarele supravegheate, curentul de fugă depăşeşte valoarea de referinţă în forma unui impuls care se produce la descărcarea electrică nedisruptivă pe o porţiune din suprafaţa izolatorului, atunci capul de înregistrare al magnetofonului se comută automat pe înregistrarea acestui curent, deconectînd simultan şuntul de măsurare precedent. Schema de automatizare comută corespunzător şi pista pe care se înregistrează fenomenul respectiv.

În funcţie de forma, durata şi circumstanţele în care au luat naştere magnetogramele (prevestitoare ale avariei izolaţiei externe din exploatare) acestea se împart în trei categorii analizate mai jos.

a. *Descărcări de scurtă durată pe suprafaţa izolatoarelor.* Impulsurile de curent în formă de vîrfuri (ace) care apar pe magnetograme sînt cele mai răspîndite semne ale unor descărcări locale pe suprafaţa izolatorului. Aceste impulsuri reprezintă semnalul cel mai inofensiv. Ele apar în jurul valorii de vîrf al curentului de bază şi pot să persiste ore întregi. Schema echivalentă a izolatorului în acest caz este reprezentată în fig. 3.36. Transformarea într-un

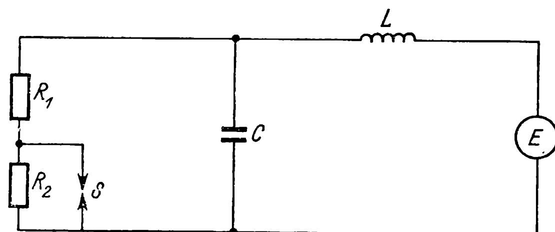


Fig. 3.36. Schema echivalentă a izolaţiei externe contaminate:
E — tensiunea electromotoare a sursei de înaltă tensiune; L — inductivitatea sursei; C — capacitatea totală a sursei, legăturilor şi a construcţiei izolante în cauză; R_1 — rezistenţa rezultantă a porţiunii izolatorului care este umedă (bună conducătoare); R_2 — rezistenţa rezultantă a porţiunii suprafeţei izolatorului care este mai uscată datorită efectului Joule al curenţilor de fugă.

arc electric a descărcărilor de înaltă frecvenţă de scurtă durată este condiţionată de elementele din schema echivalentă.

Din cercetări experimentale pe modele rezultă că variaţia lui R_1 şi R_2 nu duce neapărat la arc electric, deoarece prin natura şi specificul lor influenţa acestora se compensează reciproc. Transformarea oscilaţiilor de înaltă frecvenţă, a căror mărime depinde de parametrii E, L şi C, în arc electric de

suprafață poate să aibă loc la un anumit raport al rezistențelor R_1 și R_2. Din acest motiv înregistrarea mărimii și al numărului de impulsuri (eventual sortarea lor după aceste criterii) nu este un indiciu care să determine nocivitatea acestor descărcări.

b. *Arcuri electrice parțiale, intermitente, de aceeași polaritate avînd o durată sub o semiperioadă a tensiunii de serviciu.* În cazul contaminării mai intense, în magnetograma curentului de fugă se pot observa și impulsuri de mai lungă durată care însă nu depășesc 0,01 s. Polaritatea acestor impulsuri este în general aceeași cu polaritatea tensiunii rețelei, iar intervalul de reamorsare dintre ele de cîteva perioade. Astfel de impulsuri denotă descărcările care se produc pe suprafața izolatoarelor, care angrenează o putere mai mare (de exemplu, descărcarea unor rile care se usucă mai repede decît restul rilelor din construcția suportului izolant sau a trecerii izolate a aparatului).

Față de semnalele de înaltă frecvență apărute în jurul valorii de vîrf a curentului, aceste semnale reprezintă un pericol mai mare, dar nu înseamnă neapărat conturnarea iminentă a întregii construcții izolante.

c. *Arcuri electrice parțiale, succesive, de polaritate variabilă.* Experiența arată că conturnarea izolației externe este precedată de impulsuri de curent, respectiv arcuri electrice pe diferite porțiuni ale izolatorului datorită migrării piciorului de arc, care variază ca polaritate și care se succed unul după altul la un interval de o semiperioadă.

Efectele arcului parțial datorită migrării piciorului de arc se cumulează, și în timp, duc în mod obligatoriu la conturnare. Din acest motiv este rațional ca înregistrarea automată să se facă numai în cazul arcurilor a căror durată depășește o semiperioadă și care se succed unul după altul fără o pauză care să fie egală sau mai mare de o semiperioadă.

4. Încercarea căilor de curent (încercarea de încălzire și probele de stabilitate termică și dinamică a aparatelor)

Calea de curent a aparatelor electrice de înaltă și joasă tensiune se încearcă la încălzire — în serviciu permanent și în serviciu intermitent și la stabilitate termică și dinamică — în regim de scurtcircuit.

Încercarea de încălzire în regim permanent și intermitent se realizează, de obicei, la curenți nominali, respectiv la curenți echivalenți, care în cazul aparatelor menționate variază în limite foarte largi (de la fracțiuni de amperi, în cazul aparatelor legate în derivație în circuitele electrice, la zeci de kiloamperi, în cazul aparatelor conectate în serie).

Încercarea de stabilitate termică și dinamică se execută la curenți de scurtcircuit, care depășesc, de obicei, de zeci și sute de ori curentul nominal al aparatelor respective. Problemele care se ridică la aceste încercări se referă la: obținerea unor curenți (respectiv puteri) necesari efectuării probelor; măsurarea (înregistrarea) acestora cu maxim de fidelitate (precizie) și măsurarea, respectiv înregistrarea temperaturilor și eforturilor mecanice variabile în timp.

4.1. Pregătirea aparatului pentru încercări. Probe preliminare

Pentru încercări de încălzire aparatul trebuie să fie montat ca în condițiile normale de funcționare, dacă standardul sau norma internă de produs nu specifică altfel. Modul de racordare a aparatului la sursa de curent (lungimea racordurilor, configurația acestora) trebuie să se facă cu un conductor de secțiune corespunzătoare, prin care se evită atît supraîncălzirea, cît și răcirea anormală a căilor de curent a aparatului datorită fluxului caloric longitudinal. Înaintea probei propriu-zise se recomandă rodarea îmbinărilor de contact cu un număr potrivit de manevre, în afara cazului cînd proba de încălzire este folosită ca auxiliar pentru evaluarea altei probe principale (de ex. verificarea capacității de comutație). Temperatura de referință a încăperii, unde se exe-

cută încercarea de încălzire și de stabilitate termică, nu trebuie să varieze în timpul probelor, iar locul de amplasare a aparatelor trebuie să fie ferit de curenți de aer.

În afară de cele menționate la proba de verificare a stabilității termice și dinamice trebuie să se acorde o atenție deosebită geometriei căilor de curent prin care se racordează aparatul la sursă, astfel ca acestea din urmă să nu

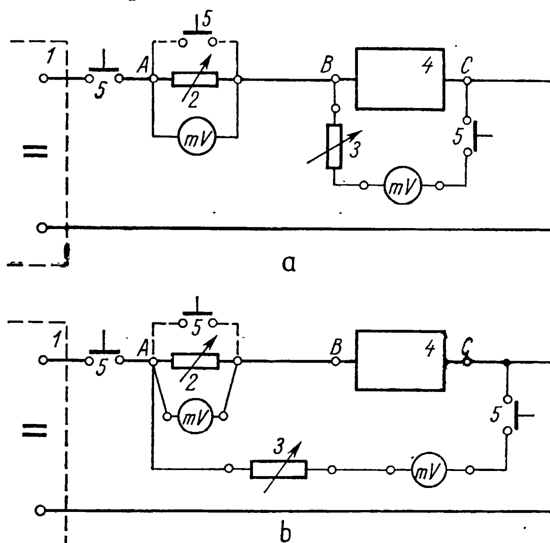


Fig. 4.1. Schema pentru măsurarea rezistenței ohmice a căii de curent a aparatelor prin metoda voltmetrului și ampermetrului în cazul rezistențelor pe fază mici *(a)* și mai mari *(b)*:

1 — sursă de curent continuu (stabilizat); *2* — șunt (sau rezistență) reglabil; *3* — rezistență adițională reglabilă; *4* — aparatul de încercat; *5* — întreruptoare pentru operații de închidere, deschidere, scurtcircuitare

creeze eforturi mecanice suplimentare asupra aparatului (prin care să compromită încercarea în regim de scurtcircuit). Înainte și după efectuarea încercărilor de încălzire în serviciu permanent sau intermitent și în regim de scurtcircuit se recomandă să se efectueze următoarele probe:

— măsurarea *rezistenței ohmice pe fază* sau pe porțiuni (de exemplu pe contacte) ale căii de curent;

— măsurarea și extrapolarea pînă la curent nominal a *căderii de tensiune pe fază* (și/sau pe porțiuni) a căii de curent.

Aceste măsurări servesc ca bază de comparație sau ca valori de referință pentru probele individuale din fabrica constructoare sau pentru încercările profilactice din exploatare.

La aparatele electrice de înaltă și de joasă tensiune rezistența ohmică și căderea de tensiune de regulă se măsoară prin *metoda voltmetrului și ampermetrului*, conform schemei din fig. 4.1.

În cazul rezistențelor de valoare mică (fracțiuni de ohmi) consumul conturului de tensiune este neglijabil și este mai precisă schema *a* din figură (schema cu voltmetrul în aval). La rezistențele mai mari, în funcție și de rezistența

interioară a milivoltmetrului folosit (împreună cu rezistența adițională), consumul conturului de tensiune nu poate fi neglijat și în acest caz este mai precisă schema din figura *b* (schema cu voltmetrul în amonte).

Valoarea exactă a rezistenței ohmice în primul caz se determină cu ajutorul relației

$$R_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_t}} . \tag{4.1}$$

Aceeași valoare corectată, în cazul al doilea, va fi

$$R_x = \frac{U}{I} - r_c \tag{4.2}$$

unde: r_t este rezistența conturului de tensiune dintre bornele B și C;
r_c — rezistența conturului de curent dintre bornele A și B.

În cazul măsurării rezistenței ohmice a unor aparate cu inductivitate mare (transformatoare de tensiune, bobine de șuntare etc.) reducerea timpului de stabilizare a curentului în circuitul de măsură se poate obține prin scurtcircuitarea temporară a rezistenței (șuntului) reglabile *2*.

La efectuarea probei trebuie acordată atenție deosebită ca: numărul de contacte în circuit să fie cît mai mic și îmbinările de contact să corespundă documentației; sursa de curent să aibă o rezistență internă mică (de exemplu baterie de acumulatoare de zeci și sute de Ah); aparatele de măsurat să fie de înaltă precizie (clasa 0,2 sau 0,5); milivoltmetrul din conturul de tensiune să fie conectat în schemă numai după stabilizarea curentului în circuit și deconectat înainte de întreruperea lui; citirea celor două aparate să fie executată simultan, iar măsurarea rezistenței să se facă cel puțin pentru trei valori ale curentului; valoarea căderii de tensiune să fie extrapolată (sau interpolată) pentru valoarea curentului nominal etc.

În funcție de valoarea rezistenței ohmice a aparatului, mai ales în condițiile unor măsurări executate în exploatare, se utilizează pe scară largă *metoda punții.* La valori mici ale rezistenței se indică folosirea punților duble (de exemplu puntea Thompson), iar în cazul rezistențelor mai mari puntea simplă, de tip Wheatstone.

4. 2. Încercarea căilor de curent principale la curent nominal sau la curent echivalent termic

Prin calea de curent a aparatului încercat se trece curentul nominal sau cel echivalent din punct de verdere termic și se determină încălzirile (supratemperaturile) diferitelor piese sau încălzirea medie corespunzătoare regimului termic stabilizat. În cazuri excepționale, în scopuri de cercetare a inerției termice a ansamblului, se ridică și curbele de încălzire și de răcire a căii de curent în funcție de timp. Stabilizarea temperaturilor se consideră atinsă dacă variația supratemperaturii într-o perioadă de timp de o oră de-

vine mai mică decît 1°C. Supratemperaturile astfel obținute se compară cu limitele de încălzire admise de standarde sau de NID ale produsului examinat. Temperatura mediului ambiant se măsoară cu termometre amplasate în jurul aparatului încercat (de ex. la un metru depărtare de obiectul de încercat și la înălțime potrivită de la sol, în 3—4 puncte etc.) și introduse într-o cuvă de ulei de volum mic (pentru desensibilizarea lor față de curenții de aer). Temperaturile pieselor care fac parte din calea de curent a aparatului pot fi măsurate cu termometre de mercur (în locuri cu intensități mici de cîmp magnetic), cu termometre cu alcool (în locuri cu intensități mari de cîmp magnetic), cu termocuple (metoda cea mai răspîndită prin care se verifică cu destulă precizie direct supratemperaturile normalizate prin standard) sau prin diferite construcții de pirometre, ca, de exemplu, pirometrele optice cu care se măsoară de la distanță, în stațiile electrice moderne, temperatura contactelor aparatajului și barelor (termoviziune). Încălzirea medie a căii de curent se determină prin două măsurări de rezistență a căilor de curent: a rezistenței la cald R_x, și a rezistenței la rece R_0.

Temperatura medie a căii de curent, realizată din cupru sau aluminiu, se determină cu ajutorul relației

$$\vartheta_x = \frac{R_x}{R_0}(235 + \vartheta_0) - 235, \tag{4.3}$$

în care: ϑ_x și R_x sînt temperatura medie în °C și rezistența ohmică corespunzătoarea a căii de curent în stare caldă (la terminarea probei);
ϑ_0 și R_0 — temperatura medie, în °C și rezistența ohmică corespunzătoare a căii de curent în stare rece (la începutul probei).

Metoda determinării încălzirilor medii se folosește, de obicei, numai la aparatele cu impedanțe interne mari (transformatoare de tensiune, bobine de reactanță etc.) sau la aparate cu piesele inaccesibile din calea de curent.

În cazuri excepționale, cînd pentru efectuarea probei de încălzire nu sînt disponibile surse de putere corespunzătoare, probele se execută la valori ceva mai reduse ale curentului I_r față de curentul nominal I_n sau curentul echivalent termic I_e (80 ... 90% din acești curenți), încălzirea fiind extrapolată cu ajutorul expresiei

$$\Theta_n = \Theta_r \left(\frac{I_n}{I_r}\right)^q = \Theta_r \left(\frac{I_e}{I_r}\right)^q \tag{4.4}$$

unde: q este un coeficient supraunitar, valoarea căruia depinde de construcția concretă a aparatului încercat și de condițiile de răcire (naturală, cu ventilație forțată etc.).

În majoritatea covîrşitoare a cazurilor încălzirea căii de curent a aparatelor se măsoară cu termocuple aplicate direct pe piesa examinată (fig. 4.2). Răspîndirea cea mai largă au obținut schemele de montaj *c* și *d*. Precizia maximă de măsurare a temperaturilor staționare se obține dacă se respectă următoarele:

— folosirea unor termoelectrozi de conductivitate termică cît mai mică şi cu caracteristică liniară (fier-constantan etc.);

— utilizarea unor termocuple cu suprafață de contact cît mai mare (de exemplu cel din figura 4.2, *d* şi *e*);

— întrebuințarea unor termocuple cu bobițe sau palpatoare cît mai plate posibil;

— plasarea tuturor tipurilor de traductoare de temperatură nu duc la deformarea cîmpului termic al aparatului examinat.

Sursa de curent, larg utilizată la încercările de încălzire a aparatelor (evident în afara de rețeaua electrică) este compusă dintr-un grup motor-generator care alimentează la tensiune reglabilă un transformator coborîtor trifazat, avînd tensiunea secundară reglabilă în trepte de cîțiva volți sau zeci de volți (pentru aparatele montate în serie). Puterea motorului de antrenare a grupului este circa 100 kW. Încercările de încălzire a aparatelor electrice trifazate se execută cu un curent trifazat. Unele standarde (de ex GOST. 2933-74) admit efectuarea acestor încercări prin înserierea fazelor, dar numai pentru aparate cu curenți mici nominali (pînă la 400 A).

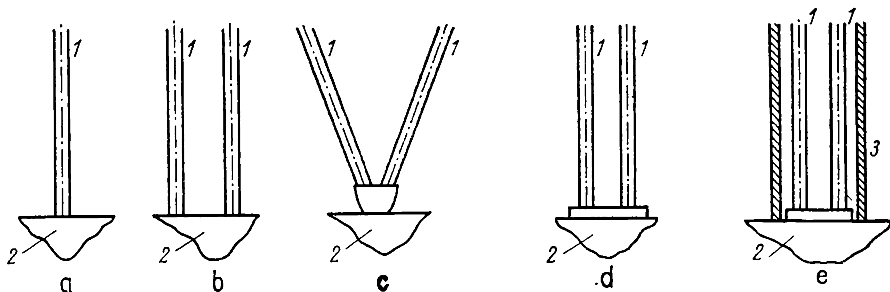


Fig. 4.2. Diferitele moduri de implantare a termocuplelor pe calea de curent a aparatelor:
a — termocuplu monofilar (cel de-al doilea electrod este chiar calea de curent sau un conductor din același material; *b* — termocuplu bifilar fără bobiță de sudură (eventual cu electrozi ascuțiți pentru ruperea stratului de oxid de metal); *c* — termocuplu bifilar cu bobiță de sudură; *d* — termocuplu cu palpator; *e* — termocuplu cu palpator înglobată în tub; *1* — electrozii termocuplului; *2* — materialul conductor al căii de curent; *3* — tub metalic.

4.3. Încercarea aparatelor la stabilitate termică și dinamică

Verificarea aparatelor în regim de scurtcircuit la solicitări electrice, termice și mecanice complexe, în cadrul probelor de stabilitate termică și dinamică, necesită instalații cu performanțe superioare față de cele care se utilizează la încercarea de încălzire în serviciu de lungă durată. Astfel, de exemplu, instalația de încercare de la Electroputere-Craiova constă dintr-un generator sincron de scurtcircuit de mare putere (100 MW putere model și 2500 MVA putere de scurtcircuit) și patru transformatoare coborîtoare de 10 MVA (putere model), care la bornele secundare asigură șapte trepte de tensiune ((125, 215, 250, 430, 550, 860 și 1000 V, în gol)și curenți de scurtcircut în limite foarte largi (pînă la 640 kA în regim de stabilitate termică și 1600 kA_{max} în regim de stabilitate dinamică) în funcție de regimul (monofazat, trifazat) sau conexiunea (serie, paralel, stea, triunghi) secțiilor de

înfăşurare a celor patru transformatoare. Schema de încercare se completează cu bobine de reactanţă care limitează curentul de scurtcircuit la valoarea prescrisă pentru aparatul examinat (fig. 4.3)

Pentru înregistrarea curenţilor se utilizează şunturi şi transformatoare de curent cu şi fără miez de fier. Comportarea acestor aparate în regimuri tranzitorii este analizată în literatură de specialitate [72]. Unele consideraţii utile sînt date şi în cap. 7.

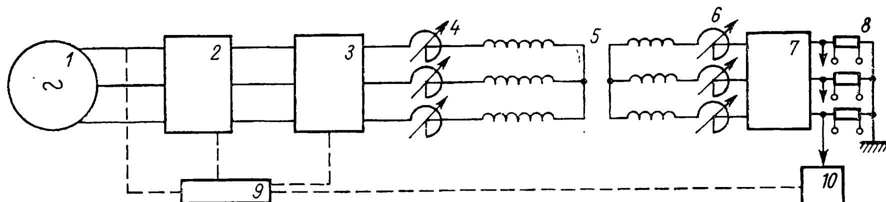


Fig. 4.3. Schema de încercare la stabilitate termică şi dinamică a aparatelor:
1 — sursa de curenţi intenşi; *2* — întreruptor de protecţie; *3* — scurtcircuitor rapid pentru conectarea sincronă; *4* — bobine de reactanţă de înaltă tensiune; *5* — transformator coborîtor; *6* — bobine de reactanţă de joasă tensiune; *7* — aparatul încercat; *8* — şunt de măsură; *9* — comutator program (sincron) şi selector de fază; *10* — oscilograf.

Transformatoarele de curent fără miez de fier, de construcţie VEI-Moscova, care se utilizează în laboratorul de mare putere din Craiova, acoperă o plajă largă de curenţi (5 ... 350 kA) şi precizie destul de bună (eroarea de măsură împreună cu amplificator şi oscilograf nu depăşeşte $\pm$ 5%). Reproducerea corectă a formei reale a curentului de scurtcircuit este importantă mai ales la proba de stabilitate dinamică a aparatului, unde componenta aperiodică (şi în consecinţă valoarea de vîrf) a curentului poate să fie eronat redată datorită constantelor de timp nepotrivite ale circuitelor de măsură, datorită saturaţiei miezului de fier, datorită inducţiilor remanente etc. Din acest motiv, înregistrării fidele a curenţilor de scurtcircuit la probele de stabilitate termică şi dinamică trebuie să i se acorde o atenţie specială.

În afară de aceasta în cadrul probelor de stabilitate termică o atenţie specială trebuie să se acorde fidelităţii de înregistrare a temperaturilor rapid variabile (zeci şi sute de °C/s). Eroarea de înregistrare a acestor temperaturi, în cazul utilizării de termocuple, depinde de transmisivitatea termică α, de conductivitatea termică λ, de difuzivitatea termică a, de dimensiunile detectorului de temperatură (înălţimea şi lăţimea bobiţei sau palpatorului) şi de modificarea spectrului cîmpului termic al căii de curent datorită fluxului termic recoltat prin termocuplu. În cazul cînd valoarea efectivă a curentului de stabilitatea termică variază în timp (1 ... 5 s) curentul echivalent se obţine cu ajutorul regulii lui Simpson, divizînd oscilograma obţinută în zece porţiuni egale şi procedînd conform celor specificate în fig. 4.4 şi expresia **4.5**

$$I_{et} = \sqrt{\frac{1}{30}\left[I_0^2 + 4(I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2) + 2(I_2^2 + I_4^2 + I_6^2 + I_8^2) + I_{10}^2\right]}. \qquad (4.5)$$

Cînd posibilitățile de probare sînt limitate în ceea ce privește durata scurtcircuitului, încercarea poate fi efectuată la un curent prestabilit, dar la o durată redusă (evident în limite rezonabile) prin șocuri succesive. Notînd cu a, b, c ... n numărul de ordine al scurtcircuitelor aplicate, cu I_a, I_b ... I_n valorile efective ale curenților de scurtcircuit echivalenți, iar cu t_a, t_b ... t_n duratele acestor scurtcircuite și neglijînd răcirea între încercări, seria de probe cu succesiunea rapidă (cu intervale de secunde sau fracțiuni de secunde între ele) trebuie să satisfacă condiția

$$I_g^2 t_g^2 \leqslant I_a^2 t_a + I_b^2 t_b + I_c^2 t_c + ... + I_n^2 t_n, \quad (4.6)$$

unde: I_g este valoarea curentului de stabilitate termică garantată în kA;
t_g — durata garantată a curentului de stabilitate termică în s.

Dacă încercarea se execută la un curent redus în comparație cu cel garantat, atunci, cu acordul beneficiarului, se poate face o extrapolare a temperaturii medii a înfășurării după metoda următoare: după o încercare la un curent de scurtcircuit I' [kA] de durată t' [s], supratemperatura măsurată este T' [°C]. Neglijînd schimbarea rezistenței în timpul încercării, creșterea de temperatură sau supratemperatura T, corespunzătoare încercării la un curent de scurtcircuit prestabilit I și de durată t, poate fi calculată cu expresia

$$T = T' \frac{I^2 t}{(I')^2 t'} \cdot \quad (4.7)$$

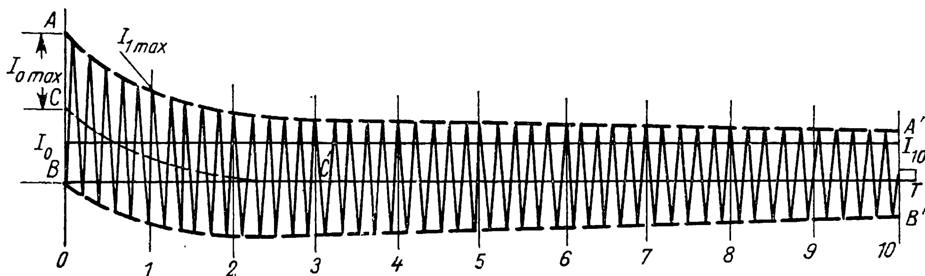


Fig. 4.4. Determinarea curentului de scurtcircuit echivalent:
$AA'BB'$ — înfășurătoarea oscilațiilor curentului; CC' — deplasarea liniei de zero a oscilațiilor curentului față de linia de zero normală la un anumit moment; BT — durata scurtcircuitului; I_{omax} — valoarea de vîrf a componentei alternative a curentului la momentul inițial; I_{1max} — valoarea de vîrf a componentei alternative a curentului la momentul corespunzător diviziunii 1.

5. Încercarea sistemelor electromagnetice

Sistemele electromagnetice ale aparatelor electrice constau din dispozitive și/sau mecanisme electromagnetice compuse dintr-unul sau mai multe circuite magnetice și bobine. La rîndul lor, circuitele magnetice pot să fie cu și fără fier (cu sau fără întrefieruri), ele pot să fie construite pentru curent continuu sau pentru curent alternativ, pentru solenație constantă sau pentru flux de înlănțuire constant etc. Varietatea extrem de mare a sistemelor electromagnetice folosite în construcția aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune impune elaborarea unor metode de investigație experimentale foarte diverse în funcție de specificul constructiv și funcțional al aparatului examinat.

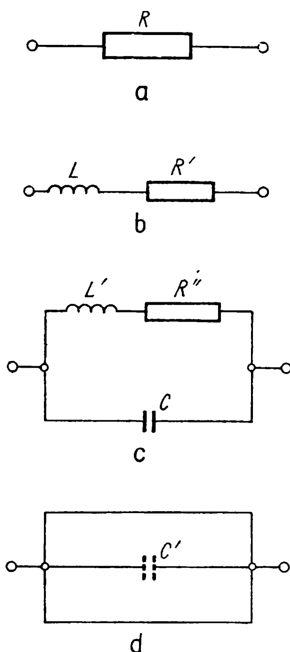


Fig. 5.1. Schema echivalentă a unei bobine cu miez de fier în regimuri staționare;

a — în circuite de curent continuu; *b* — în circuite de frecvență industrială (50 Hz); *c* — în circuite de frecvență înaltă (zeci și sute de kHz) *d* — în circuite de frecvență foarte înaltă (MHz).

Astfel, de exemplu, o bobină reală cu miez de fier în regimuri staționare se comportă altfel într-un circuit de curent continuu decît în circuite de curent alternativ de frecvențe diferite: în curent continuu și în regim staționar bobina respectivă se comportă ca o rezistență ohmică; în curent alternativ la frecvență joasă ea poate fi modelată printr-o rezistență activă (care reflectă și pierderile în fier) înseriată (sau legată în paralel) cu o inductanță ;la frecvențe mai ridicate (de ordinul zecilor și sutelor de kHz) trebuie să se țină seama și de capacitățile parazite dintre spirele, straturile etc. ale bobinei, și în final, la frecvențe foarte înalte (de ordinul MHz) bobina poate fi înlocuită cu un dipol format dintr-un condensator echivalent (fig. 5.1). La fiecare din aceste stări va corespunde un spectru caracteristic al cîmpului electric și magnetic.

În regimuri nestaționare comportarea bobinei cu fier face obiectul unor cercetări teoretice și expe-

rimentale intense fără să fie rezolvată (chiar şi din punct de vedere fenomenologic) pe deplin satisfăcător pînă în momentul de faţă. Fiind vorba de un element de circuit neliniar şi în acest domeniu sînt preferate metodele de investigaţie experimentale, atît la încercarea mecanismelor (sisteme electromagnetice, cu piese mobile) cît şi a dispozitivelor (sisteme electromagnetice cu piese fixe) electromagnetice.

În cele ce urmează se descriu numai acele metode de încercări, care pot fi folosite la determinarea parametrilor intimi de funcţionare ai majorităţii mecanismelor şi dispozitivelor electromagnetice practicate.

5.1. Măsurarea impedanţei, consumului de energie activă şi reactivă a sistemelor electromagnetice în regimuri staţionare (cvasistaţionare)

În practică deseori este necesar să se cunoască cu exactitate astfel de date privind mecanismele şi dispozitivele electromagnetice ale aparatelor, ca de exemplu:

— impedanţa (rezistenţa şi reactanţa) sau admitanţa (conductanţa şi susceptanţa) circuitului electric;

— consumul de putere şi de energie activă şi reactivă a sistemului electromagnetic compus din circuite electrice şi magnetice.

Schema generală de măsurare a mărimilor electrice caracteristice, folosită în acest scop, este reprezentată în fig. 5.2.

Mecanismele şi dispozitivele electromagnetice folosite în construcţia aparatelor electrice de obicei au un factor de putere mic sau un factor de calitate bun.

Eroarea de măsurare, în special a pierderilor active, este destul de mare dacă nu se utilizează wattmetre de cos φ foarte mic (sub 0,1) şi transforma-

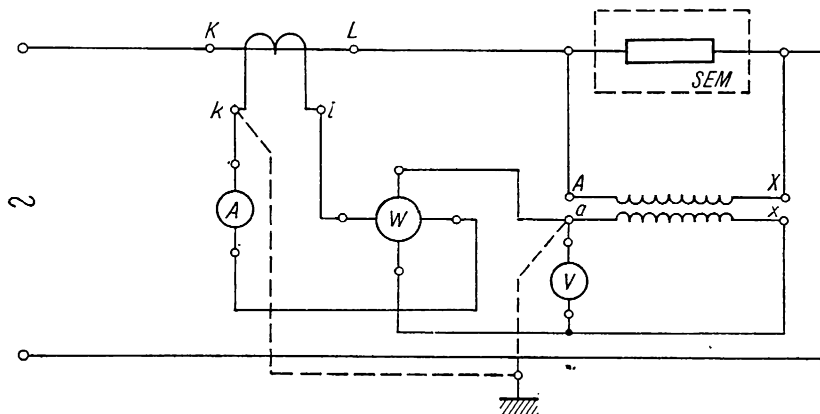


Fig. 5.2. Schema de determinare a mărimilor staţionare şi cvasistaţionare, caracteristice unui sistem electromagnetic (SEM) folosit în construcţia aparatelor electrice.

toare de măsură cu erori de unghi și de raport suficient de mici. Eroarea echivalentă a măsurării în acest caz va fi

$$\varepsilon_e = \varepsilon_U + \varepsilon_i + \varepsilon_\delta \ [\%], \tag{5.1}$$

unde: ε_U și ε_i sînt eroarea de raport a transformatorului de tensiune, respectiv de curent;

ε_δ este eroarea rezultantă datorită erorii de unghi a transformatorului de tensiune și de curent;

ε_U și ε_i pot fi determinate cu punți speciale conform celor indicate în cap. 12.

Eroarea ε_δ în schimb se determină prin relația [99]

$$\varepsilon_\delta = 100 \frac{P_s - P_p}{P_s} = \frac{\cos(\varphi - \delta) - \cos\varphi}{\cos(\varphi - \delta)} \cdot 100 \ [\%], \tag{5.2}$$

în care:

$$P_p = U_1 I_1 \cos \varphi; \tag{5.3}$$

$$P_s = U_2 I_2 \cos (\varphi - \delta). \tag{5.4}$$

Pierderile active reale din primar P_p se obțin prin corectarea pierderilor măsurate în secundarul transformatoarelor de măsură P_s cu eroarea echivalentă ε_e din relația următoare

$$P_p = P_s \left(1 - \frac{\varepsilon_e}{100}\right) \cdot \tag{5.5}$$

La determinarea pierderilor totale și a consumurilor active sau reactive, experimentatorul deseori se confruntă cu greutăți specifice aparatelor electrice și anume: aparatele montate în serie în circuit (tranformatoarele de curent, relee de curent etc.) au un curent relativ mare și o cădere de tensiune mică, în schimb aparatele montate în paralel sau transversal (transformatoare de tensiune, relee de tensiune etc.) o cădere de tensiune mare și un curent mic. În primul caz pentru determinarea pierderilor sau a consumurilor de putere ar fi necesare wattmetre cu bobine de tensiune, iar în al doilea caz bobine de curent foarte sensibile. Experimentatorul ce deține o bogată experiență folosește artificii diferite pentru evitarea unor erori inacceptabile. Astfel, de exemplu, la determinarea pierderilor totale și suplimentare a transformatoarelor de curent se folosește schema de măsurare din fig. 5.3, în care cu primarul transformatorului de curent se înseriază o rezistență ohmică aproximativ egală cu cea a înfășurării primare.

Pierderile se determină din indicația celor trei voltmetre prin calcul, ținînd cont că

$$P_T = U_2 I_1 \cos \varphi \tag{5.6}$$

unde din teorema lui Pitagora generalizată (teorema cosinusului)

$$U_3^2 = U_1^2 + U_2^2 - 2\, U_1 U_2 \cos (\pi - \varphi), \tag{5.7}$$

rezultă din figură, că pierderile totale vor fi egale cu

$$P_T = \frac{U_3^2 - U_2^2 - U_1^2}{2R_1} \, . \tag{5.8}$$

Consumurile de energie la mecanismele electromagnetice se obțin prin integrare grafică, dacă mărimile din schema din fig. 5-2 se oscilografiază la scară corespunzătoare (cu bucle de curent, de tensiune și de putere potrivite).

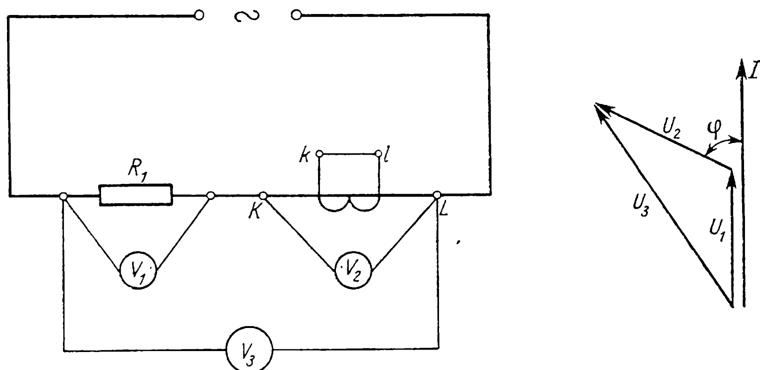


Fig. 5.3. Schema de determinare a pierderilor totale într-un sistem electromagnetic (transformator de curent) cu cădere mică de tensiune între borne, prin metoda celor trei voltmetre (*a*) și diagrama vectorială (*b*) a mărimilor măsurate.

5.2. Determinarea pierderilor suplimentare

Încălzirea aparatelor electrice pe lîngă pierderile Joule-Lenz sînt determinate și de pierderile suplimentare care au loc în piesele masive datorită curenților turbionari sau datorită ciclului histerezis.

Determinarea acestor pierderi în general nu este dificilă. În acest scop se determină pierderile totale P_T, conform metodei indicate în subcap. 5.1 și din aceste pierderi se scad pierderile Joule-Lenz, adică

$$P_{supl} = P_T - I^2R, \tag{5.9}$$

unde: R este rezistența ohmică a înfășurării la o temperatură dată, în Ω.

Rezultatele măsurărilor trebuie să fie raportate la aceeași temperatură de referință, cunoscînd faptul că pierderile Joule-Lenz cresc, iar pierderile suplimentare scad cu temperatura mediului ambiant.

Pierderile suplimentare, în cazul unor înfășurări de cupru sau aluminiu determinate la o temperatură ϑ, se recalculează la o temperatură de referință ϑ_n cu ajutorul relației

$$[P_{supl}]_{\vartheta_n} = [P_{supl}]_{\vartheta} \frac{\vartheta - 235}{\vartheta_n + 235}. \tag{5.10}$$

5.3. Ridicarea curbei de magnetizare în regimuri staționare și nestaționare

● Curba de magnetizare a sistemelor electromagnetice în regimuri staționare se confundă deseori cu caracteristica de funcționare în gol, care se ridică conform procedeelor cunoscute. Tensiunea indusă în acest caz se măsoară sau se înregistrează cu aparate de consum minim de curent sau de impedanță mare (de ordinul MΩ) de intrare (micro- sau milivoltmetre selective electronice, electrostatice sau digitale etc.). Forma tensiunii induse este bine să se controleze cu un aparat potrivit (sistem Deprez) prin măsurarea concomitentă a valorii efective cu valoarea medie aritmetică a tensiunii. Dimensiunile și forma conturului circuitului de alimentare a înfășurării de excitație (existente sau puse ad-hoc) trebuie să fie astfel alese ca să nu falsifice prin inducție electromagnetică valoarea tensiunii induse în sonda (înfășurarea) de măsurare. Alteori, este indicat ca inducția magnetică sau fluxul să se determine în medii nemagnetice, cînd se utilizează bobine-sondă (bobină de dimensiuni milimetrice din mai multe sute de spire dintr-un conductor de 0,02 ... 0,05 mm) sau traductoare bazate pe efectul Hall.

În cazul unei excitații sinusoidale și folosirii acestor sonde, inducția magnetică (valoarea ei de amplitudine în locul de amplasare a sondei) se determină prin relația

$$B = \frac{E}{4,44\, fwS} [T] \tag{5.11}$$

în care: E este tensiunea indusă, în V;
S — suprafața totală a sondei, în m²;
f — frecvența în Hz;
w — numărul de spire a sondei.

Dezavantajul metodei de măsurare a inducției magnetice prin traductor Hall, față de cea bazată pe bobina-sondă, constă în dependența rezultatelor obținute, prin prima metodă, de temperatură și de timp.

Inducția magnetică în piesele aparatelor realizate din materiale feromagnetice se măsoară cu ajutorul schemei de integrare din fig. 5.4 și se determină din relația

$$B = \frac{RC}{Sw} U_c, \tag{5.12}$$

în care: R și C sînt parametri schemei de integrare, iar U_c — căderea de tensiune pe bornele capacității C.

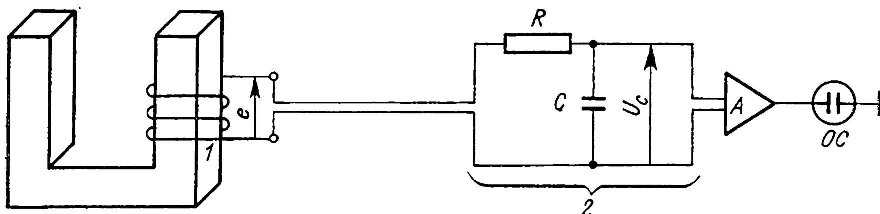


Fig. 5.4. Schema oscilografierii inducției magnetice dintr-o piesă magnetică a aparatelor: 1 — bobină sondă; 2 — circuit de integrare; A — amplificator; OC — oscilograf.

● Curba de magnetizare a dispozitivelor și mecanismelor electromagnetice în regimuri nestaționare, care se utilizează la analiza comportării aparatelor electrice în cadrul unor fenomene tranzitorii din sistemul electroenergetic, prezintă un interes practic deosebit. Astfel, de exemplu, eficiența schemelor de protecție în regimul scurtcircuitelor sau a supratensiunilor din rețele nu se poate analiza fără curba de magnetizare a transformatoarelor de măsură. Or astfel de informații nu sînt date în cataloagele produselor respective și pot fi obținute numai pe cale experimentală. Pentru ridicarea curbei este necesar un generator de impuls de tensiune (la transformatoare de tensiune — bobine de reactanță de șuntare etc.) sau de curent (la transformatoare de curent — bobine de reactanță limitatoare de curenți de scurtcircuit etc.) sau o baterie de condensatoare în prealabil încărcate, astfel ca să asigure pe borna aparatelor o tensiune suficientă pentru investigarea comportării circuitelor magnetice în regimuri diferite de saturație (fig. 5.5). În funcție de nevoi se reglează și forma undei de tensiune prin valoarea impedanței de sarcină și de front (în funcție de regimul tranzitoriu care interesează). Astfel, de exemplu, la cercetarea comportării transformatoarelor de curent în domeniul curenților de scurtcircuit panta cea mai mare de variație a curentului se obține în momentul $t = 0$, cînd componenta aperiodică este maximă.

Frecvența limită f_{max} cu care poate să fie echivalată (caracterizată) variația curentului în acest caz este funcție de constanta de timp T_R sau de raportul $\frac{R}{X}$ a rețelei scurtcircuitate

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi\, T_R} = \frac{1}{2\pi} \frac{R}{L} = f \frac{R}{X}, \tag{5.13}$$

unde: f este frecvența tensiunii de serviciu a rețelei (50 Hz), iar $\frac{R}{X} = 0{,}05 \ldots 20$.

Din expresia (5.13) rezultă că pentru determinarea răspunsului tranzitoriu, generatorul de impuls (bateria de condensatoare) trebuie să fie reglat să furnizeze unde oscilante sau unde aperiodice cu pantă de variație corespunzătoare, avînd următoarele caracteristici:

$$\frac{R}{X} = 0{,}05; \qquad f_{max} = 2{,}5 \text{ Hz};$$

$$\frac{R}{X} = 1; \qquad f_{max} = 50 \text{ Hz};$$

$$\frac{R}{X} = 20; \qquad f_{max} = 1000 \text{ Hz}.$$

Evident, că datele experimentale astfel obținute nu vor putea fi utilizate la analiza comportării transformatorului de curent în regimuri de variație mult mai rapidă a curentului, ca de exemplu la analiza fenomenului de ardere a siguranțelor fuzibile înseriate, la reamorsarea arcului electric în întreruptoare, în aval sau în amonte etc.

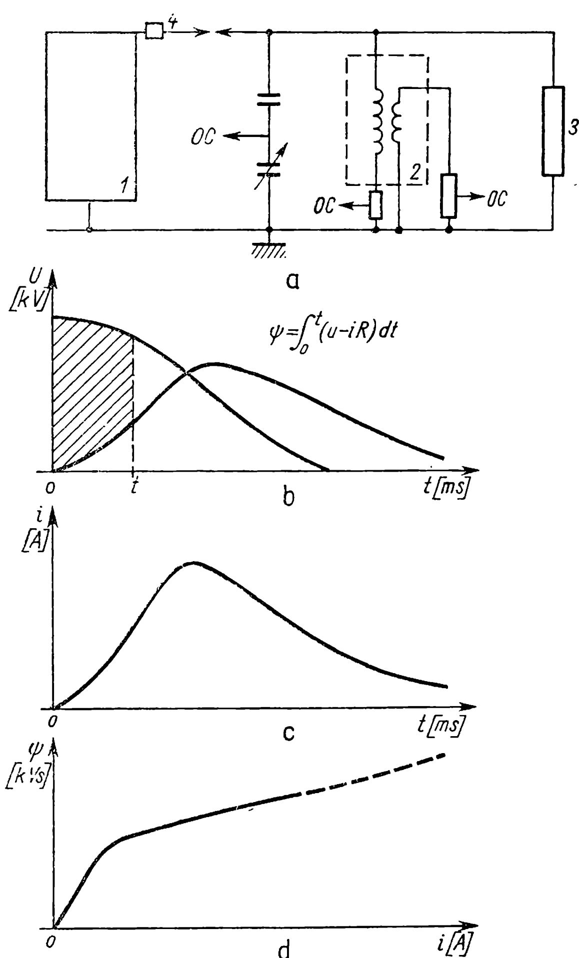


Fig. 5.5. Schema de ridicare experimentală a curbei de magnetizare a transformatoarelor de măsură (*a*) în regim tranzitoriu și diagrame (*b*, *c*, *d*) pentru ilustrarea metodei de prelucrare „pas cu pas" a datelor:

1 — generator de impuls (de tensiune sau de curent) sau baterie de condensatoare încărcate; *2* — transformator de măsură (de tensiune sau de curent); *3* — impedanță de sarcină; *4* — impendanță de front.

Caracteristica $\psi = f(i)$ se ridică utilizînd metoda „pas cu pas" prin planimetrarea suprafeței hașurate în fig. 5.5, *b*, corespunzătoare unui singur punct de pe curba de magnetizare. Metoda presupune cunoscută rezistența activă a înfășurării la solicitările descrise anterior. Pentru integrările succesive este mai comodă utilizarea calculatoarelor numerice și a unor programe corespunzătoare.

5.4. Determinarea inductivităților (reactanțelor) de scăpări și mutuale

Dispozitivele și mecanismele electromagnetice ale aparatelor deoseori se compun din două sau mai multe bobine. În aceste cazuri, valoarea inductivităților (reactanțelor) de scăpări și a celor mutuale prezintă un interes deosebit la analiza comportării aparatelor. În cadrul experienței trebuie să se deosebească următoarele mărimi fizice de bază, ilustrate în fig. 5.6 pentru cazul a două bobine cuplate inductiv:

Φ_1 — fluxul total creat de curentul din prima bobină;

Φ_{M1} — fluxul de inducție mutuală, creat de curentul din prima bobină, care se înlănțuie cu spirele celei de a doua bobine;

Φ_{s1} — fluxul de scăpări, creat de curentul din prima bobină, care se înlănțuie cu spirele aceleiași bobine;

Φ_2, Φ_{M2} și Φ_{s2} — fluxurile omoloage, care sînt create de curentul din cea de a doua bobină;

Φ_M — fluxul total de inducție mutuală care se înlănțuie cu spirele ambelor bobine.

Inductivitatea bobinelor se determină cu ajutorul expresiilor cunoscute:

$$L_1 = \frac{N_1\Phi_1}{i_1} = \frac{N_1\Phi_{s1}}{i_1} + \frac{N_1\Phi_{M1}}{i_1}; \qquad (5.14\ a)$$

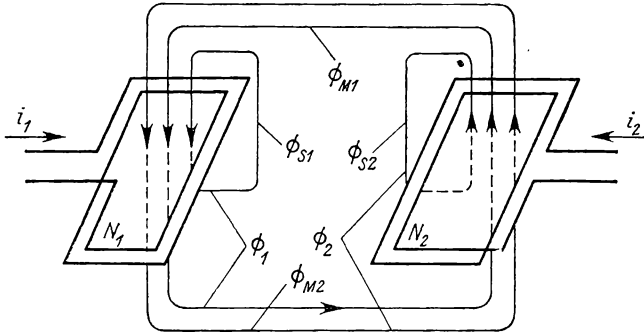


Fig. 5.6. Fluxurile magnetice ale celor două bobine cuplate inductiv.

$$L_2 = \frac{N_2\Phi_2}{i_2} = \frac{N_2\Phi_{s2}}{i_2} + \frac{N_2\Phi_{M2}}{i_2}. \qquad (5.14\ b)$$

Din aceste expresii inductanțele de scăpări ale celor două bobine reprezintă primii termeni, adică:

$$L_{s1} = \frac{N_1\Phi_{s1}}{i_1} = \frac{X_{s1}}{2\pi f}; \qquad (5.15\ a)$$

$$L_{s2} = \frac{N_2\Phi_{s2}}{i_2} = \frac{X_{s2}}{2\pi f}, \qquad (5.15\ b)$$

unde: X_{s1} și X_{s2} sînt reactanțele de scăpări ale bobinelor.

Inductivitatea mutuală a două bobine cuplate magnetic conform definiției se exprimă prin relațiile:

$$M = \frac{N_1\Phi_{M2}}{i_2} = \frac{N_2\Phi_{M1}}{i_1} = \frac{X_M}{2\pi f} = k_M \sqrt{L_1 L_2}, \qquad (5.16)$$

în care: X_M este reactanța mutuală a celor două bobine cuplate magnetic.

Intimitatea cuplajului magnetic dintre cele două bobine se caracterizează prin valoarea coeficientului de cuplaj k_M care întotdeauna este subunitar

$$k_M = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}}. \qquad (5.17)$$

Coeficientul de cuplaj se micșorează pînă la zero dacă se anulează componentele Φ_{M1} și Φ_{M2} ale fluxului total de inducție mutuală și se mărește pînă la 1 dacă se anulează fluxurile de scăpări Φ_{s1} și Φ_{s2}. Anulînd fluxurile Φ_{M1} și Φ_{M2} prin scurtcircuitarea uneia din cele două bobine, sau montînd alte bobine pe miezul respectiv în acest scop, inductivitățile de scăpări (în consecință reactanțele corespunzătoare) se vor putea determina din măsurarea inductanțelor L_1 și L_2 definite prin expresiile (5.14).

Pentru determinarea *inductivităţitor mutuale* (şi în consecinţă a *reactanţelor mutuale*) este necesar să se cunoască valoarea coeficientului de cuplaj. Această valoare însă este mai greu de determinat şi din acest motiv experimentatorul recurge la un artificiu, măsurînd impedanţa celor două bobine conectate în serie, adiţional Z_{ad} şi diferenţial Z_{dif}, impedanţe care se exprimă prin relaţiile cunoscute:

$$Z_{ad} = r_1 + r_2 + j\omega(L_1 + L_2 + 2M); \tag{5.18}$$

$$Z_{dif} = r_1 + r_2 + j\omega(L_1 + L_2 - 2M). \tag{5.19}$$

Scăzînd ecuaţia (5.19) din ecuaţia (5.18) se obţine o expresie comodă pentru determinarea inductivităţii mutuale M prin măsurarea, respectiv înregistrarea, curenţilor şi tensiunilor în scheme similare cu cea indicată în fig. 5.1

$$M = \frac{Z_{ad} - Z_{dif}}{j4\omega}. \tag{5.19}$$

Reactanţa de scăpări a unei bobine poate fi determinată pe baza principiilor enunţate mai sus în mai multe feluri.

Metodele indicate în schemele din figura 5.7 de exemplu, se bazează pe anularea fluxului de inducţie mutuală din miez a transformatoarelor de curent prin conectarea în serie, dar diferenţial, a unei înfăşurări primare identice cu înfăşurarea investigată (fig. 5.7, *a*) sau prin utilizarea unui regulator de fază *1* şi transformator de tensiune auxiliar *2*, pentru alimentarea concomitentă a celor două înfăşurări ale transformatorului de curent examinat (fig. 5.7, *b*).

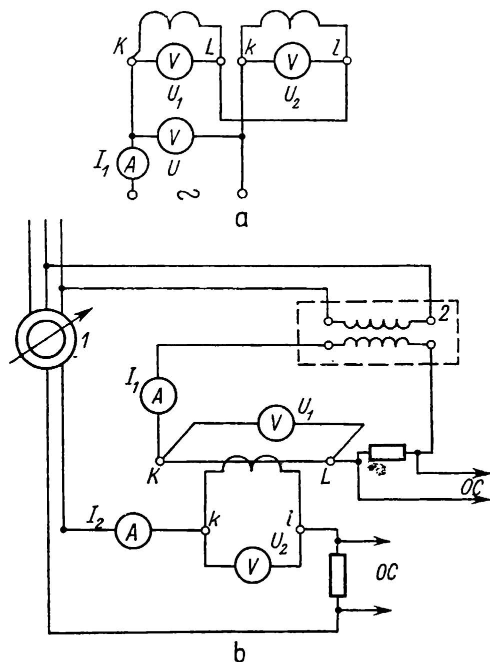


Fig. 5.7. Schema de măsurare a reactanţelor de scăpări a înfăşurărilor la transformatoare de curent cu raport de transformare 1 (*a*) sau oarecare (*b*).

La încercarea conform schemei, solenaţia identică se controlează prin ampermetrele înseriate în circuitul primar şi secundar, iar fazele curenţilor prin oscilografe catodice sau cu bucle avînd cel puţin două canale de măsurare.

Cunoscînd rezistenţele ohmice ale circuitului primar R_1 şi secundar R_2, mai întîi se determină căderile de tensiune pe reactanţele de scăpări cu ajutorul relaţiilor:

$$U_{s1} = \sqrt{U_1^2 - (I_1R_1)^2}; \tag{5.20}$$

$$U_{s2} = \sqrt{U_2^2 - (I_2R_2)^2}. \tag{5.21}$$

Din aceste valori reactanțele de scăpări ale înfășurărilor se determină cu ajutorul expresiilor:

$$X_{s1} = \frac{U_{s1}}{I_1}; \tag{5.22}$$

$$X_{s2} = \frac{U_{s2}}{I_2}. \tag{5.23}$$

Reactanțele de scăpări se pot determina și din tensiunea electromotoare indusă într-o înfășurare auxiliară (a treia), bobinată pe același miez cu înfășurarea examinată, care în timpul probei se scurtcircuitează. Înfășurarea auxiliară trebuie să fie astfel amplasată, ca spirele sale să nu fie înlănțuite de fluxul de scăpări a primelor două înfășurări (de exemplu, înfășurarea primară și secundară a transformatoarelor de măsură dintre care una este excitată, iar cea de-a doua scurtcircuitată). În fig. 5.8 se dă amplasarea optimă a înfășurării auxiliare la principalele tipuri de circuite magnetice folosite în construcția aparatelor electrice. Căderea de tensiune pe reactanța de scăpări se va determina dintr-o relație de tipul

$$U_{x_s} = \sqrt{U_0^2 - U_R^2} \tag{5.24}$$

în care: U_0 este tensiunea electromotoare indusă în bobina auxiliară și măsurată cu voltmetru electrostatic, electronic sau digital (de consum foarte mic);

U_R — căderea de tensiune ohmică.

Astfel, de exemplu, reactanța de scăpări a înfășurării secundare a unui transformator de curent, conform acestei metode, se va determina cu ajutorul relației

$$X_{2s} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{N_0} \cdot \frac{N_2}{I_2}\right)^2 - R_2^2}. \tag{5.25}$$

Reactanța de scăpări a înfășurării primare se determină în mod analog, excitînd înfășurarea secundară și scurtcircuitînd înfășurarea primară examinată

$$X_{1s} = \sqrt{\left(\frac{U_0}{N_0} \cdot \frac{N_1}{I_1}\right)^2 - R_1^2}. \tag{5.26}$$

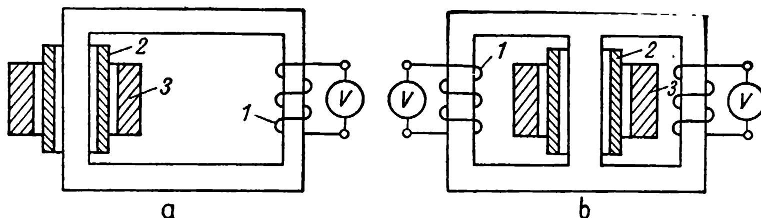


Fig. 5.8. Amplasarea bobinei auxiliare pe miezuri tip coloană (*a*) și tip manta (*b*) la un transformator de măsură:

1 — bobina auxiliară; *2* — înfășurarea secundară; *3* — înfășurarea primară.

5.5. Determinarea polarității bobinelor

În practica exploatării și în calculele de dimensionare a aparatelor electrice care cuprind circuite electrice cuplate magnetic (inductiv) între ele, deseori este necesară determinarea bornelor de aceeași polaritate. Bornele omoloage de aceeași polaritate se notează cu semnul *, ele fiind în raporturi bine definite cu sensul pozitiv al curentului în înfășurările inductiv cuplate și cu sensul pozitiv al fluxurilor magnetice de selfinducție și de inducție mutuală.

Bornele de aceeași polaritate se deosebesc prin aceea că la un curent crescător cu sensul pozitiv îndreptat spre una din ele va corespunde un potențial crescător al bornei omoloage. Metoda de determinare experimentală a bornelor de aceeași polaritate se bazează întocmai pe această însușire importantă. În acest scop, una din înfășurări inductiv cuplate se conectează la o sursă de curent continuu (baterie de acumulatoare, baterie de lanternă), iar cealaltă înfășurare la un aparat magnetoelectric. Dacă în momentul conectării sursei

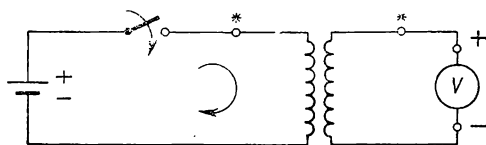


Fig. 5.9. Schema pentru determinarea experimentală a polarității bobinelor cuplate electromagnetic (inductiv).

(creșterii curentului incident în borna notată cu * din prima înfășurare) va corespunde o creștere (în sens pozitiv pe scara aparatului) a tensiunii din înfășurarea cealaltă, atunci bornele respective sînt de aceeași polaritate. La întreruperea circuitului aparatul indicator din schemă (fig. 5.9) va indica un șoc de curent (de tensiune) de sens negativ.

6. Încercarea mecanismelor de acționare

Încercarea mecanismelor de acționare a aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune are ca scop determinarea caracteristicilor statice sau dinamice și a anduranței mecanice ale acestor aparate cuplate cu dispozitive de acționare [64 ... 70]. Prin astfel de încercări se trag concluzii despre calitatea lucrărilor de montaj sau de întreținere (reglaje periodice cu ocazia revizuirii curente din exploatare). În cadrul acestor încercări se execută următoarele măsurări:

— determinarea caracteristicilor de timp (timpii proprii de acționare a ansamblului schemei și al componentelor sale) la operațiile de închidere, deschidere sau în cicluri impuse;

— ridicarea caracteristicilor cinematice (viteză, accelerație, cursă liniară și unghiulară în funcție de timp în diferite regimuri de comutație;

— ridicarea caracteristicilor statice (cuplul antagonist sau rezistiv) la închiderea și la deschiderea aparatului;

— ridicarea caracteristicilor dinamice, ca de exemplu: forța (sau cuplul motor) dezvoltată de dispozitivul de acționare în diferite regimuri de acționare;

— determinarea consumurilor de energie în diferite regimuri și cicluri de funcționare (consum de energie electrică la închidere și la declichetare, consum de aer comprimat etc.).

6.1. Măsurarea caracteristicilor de timp și ridicarea caracteristicilor cinematice

Caracteristicile de timp ale aparatelor de comutație se măsoară cel mai comod cu secundometrul electric sau cu aparatul digital dezvoltat de ICEMENERG de tip „Minut" (fig. 6.1) și cel mai bine cu oscilograful cu bucle. Pentru ridicarea curbei de variație a vitezei de deplasare a contactelor în funcție de timp, în condițiile fabricii constructoare și ale exploatării, cel mai simplu e să se utilizeze un vibrograf.

Vibrograful reprezintă un electromagnet cu armătură mobilă, dintr-o plăcuță elastică fixată la un capăt de armătura fixă a electromagnetului. La celălalt capăt al lamelei (unde se află întrefierul de lucru al electromagne-

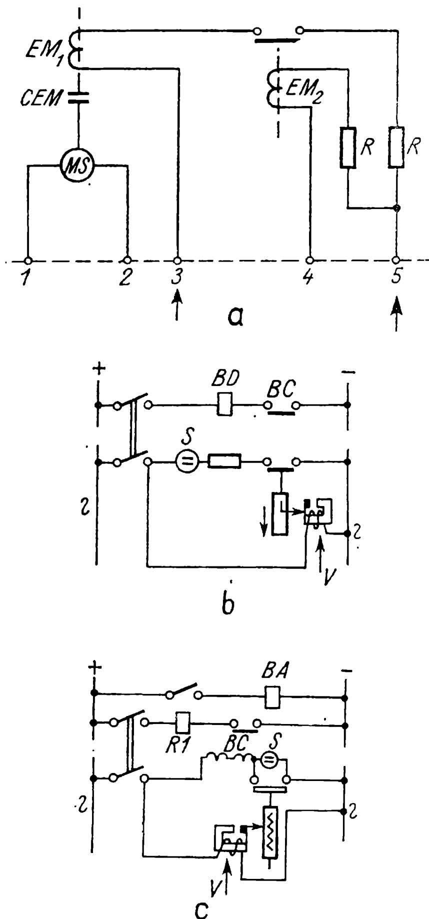


Fig. 6.1. Schema de măsurare a caracteristicilor de timp cu secundometrul (*a*) şi a caracteristicilor cinematice cu vibrograful la deschiderea (*b*) şi la închiderea (*c*) unui întreruptor:

EM_1 şi EM_2 — electromagneţi; *CEM* — cuplă electromagnetică; *MS* — motor sincron; *S* — secundometru electric; *V* — vibrograf; *BD* — bobină de declanşare; *BA* — bobină de anclanşare; *BC* — bloc de contact; *RI* — releu intermediar; *1, 2* — borne de alimentare a motorului; *3,5* — borne de pornire a măsurării; *4,5* — borne de oprire a măsurării.

tului), se fixează o mină de creion. Cînd bobina electromagnetului se alimentează de la o sursă de frecvenţă industrială (50 Hz) plăcuţa elastică începe să vibreze cu frecvenţă dublă (100 Hz). Dacă în faţa vîrfului de creion se deplasează o bandă de hîrtie, fixată rigid pe tija contactului mobil (sau de o piesă din verigile mecanismului de acţionare), atunci cursa ondulată obţinută (vibrograma) pe hîrtie la manevrarea aparatului, va indica vitezele medii pe porţiuni diferite ale cursei contactelor. Astfel, de exemplu, distanţa dintre două vîrfuri succesive de undă, măsurată în cm, va fi numeric egală cu viteza liniară a cursei contactelor, în m/s, dacă banda de hîrtie (cartonul) este solidară chiar cu tija contactului mobil (fig. 6.2).

Date mult mai complete se pot obţine la examinarea oscilografică a acestor caracteristici obţinute cu înregistratoare cu ploturi (Fig. 6.3,6.4). Prin această metodă se determină simultan vitezele de deplasare ale contactelor, timpii proprii şi timpii totali de acţionare ai electromagneţilor sau a supapelor electromagnetice, succesiunea impulsurilor de comandă, valorile curenţilor absorbiţi de organele de comandă, căderile de tensiune etc. Pentru înregistrări, mai ales în condiţiile exploatării, sînt preferate oscilografele cu contacte de sincronizare pentru circuite de comandă exterioare, prin care impulsul de deschidere (sau închidere) al întreruptorului se dă după trecerea unui interval de timp de 1 ... 2 semiperioade de la momentul pornirii oscilografului. Fixarea momentelor de timp importante (separarea şi atingerea contactelor) se realizează pe oscilogramă printr-un circuit alimentat în curent alternativ (ca de exemplu în fig. 6.3).

Viteza de deplasare a contactelor se înregistrează direct prin traductoare inductive (care derivează cursa contactelor în funcţie de timp) sau capacitive (prin care se înregistrează curba acceleraţiei contactelor în funcţie de timp), or indirect prin diferite tipuri de traductoare rezistive (continue sau în trepte). La determinarea caracteristicilor cinematice se preferă traductoarele (înregistratoarele) cu redarea continuă a fenomenului investigat.

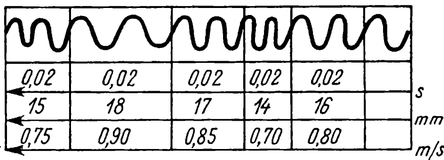


Fig. 6.2. Vibrograful și vibrograma din care rezultă vitezele medii pe intervale (între două vîrfuri) de deplasare a contactului mobil al unui întreruptor.

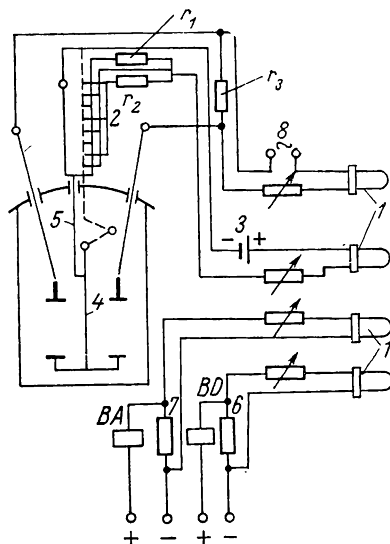


Fig. 6.3. Schema pentru examinarea caracteristicilor de timp și cinematice la întreruptorul MKP-110:

1 — bucla oscilografului; *2* — traductor de sursă cu semnal discontinuu; *3* — sursă de c.c.; *4* — ștanga izolantă a întreruptorului; *5* — tijă de oțel montată ad-hoc; *6* — șunt în circuitul bobinei de declanșare; *7* — șunt în circuitul bobinei de anclanșare; *8* — sursa de c.a; *BD* — bobina de declanșare; *BA* — bobina de anclanșare.

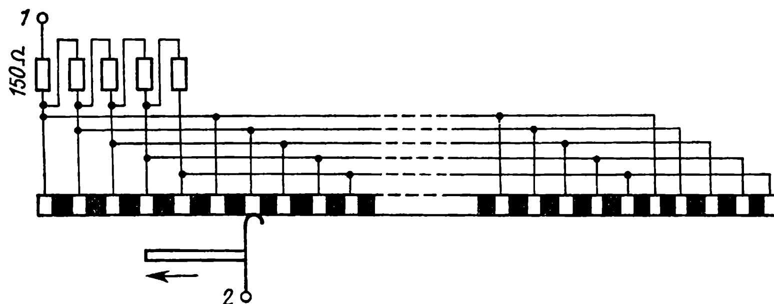


Fig. 6.4. Schema unui înregistrator de cursă cu ploturi în trepte.

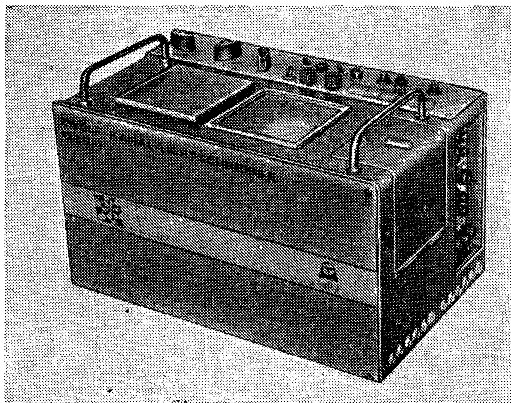


Fig. 6.5. Oscilograf cu bucle (bobine), tip 12 LS-1, fabricat în RDG, cu 12 canale, cu viteze de înregistrare variind de la 1,6 pînă la 4500 mm/s și cu developarea oscilogramei la lumina zilei sau cu developare obișnuită (în tanc fotografic).

Oscilografele cu bucle (bobine), ca cel din fig. 6.5, de tipul 12 LS-1, cu developarea imediată a hîrtiei la lumina zilei, sînt deosebit de comode pentru efectuarea unei astfel de înregistrări.

6.2. Măsurarea forțelor statice antagoniste și a cuplului static rezistent

Forța și cuplul static antagonist (sau rezistent) se măsoară la închiderea sau la deschiderea lentă a aparatului de comutație, adică la acționarea manuală. O schemă de măsurare a acestor mărimi cu ajutorul unui dispozitiv special montat pe arborele motor al unui întreruptor este redată în fig. 6.6. Brațul tijei de acționare se alege de o lungime convenabilă. Pe baza măsurărilor se ridică curba de variație a forței antagoniste și a cuplului rezistent în funcție de cursa liniară a contactului mobil sau cursa unghiulară a arborelui motor, atît la închiderea, cît și la deschiderea aparatului.

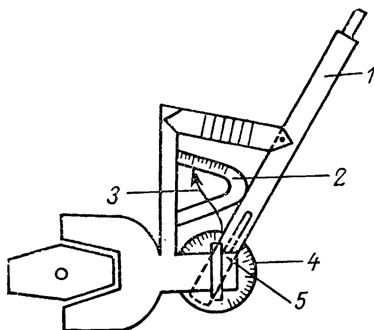


Fig. 6.6. Dispozitiv pentru măsurarea cursei unghiulare a arborelui motor și a cuplului rezistent la închiderea și deschiderea statică (lentă) a întreruptorului:

1 — pîrghie de acționare; *2* — scară gradată a dinamometrului; *3* — ac indicator; *4* — scară gradată solidară cu pîrghia care indică unghiul de rotație (cursa unghiulară); *5* — indicator fix pentru poziția inițială a pîrghiei.

6.3. Înregistrarea forțelor antagoniste și a cuplului rezistent în regim dinamic

În regimul dinamic forța antagonistă și

cuplul rezistent pot fi de asemenea determinate cu dinamometrul (mai ales în condițiile exploatării), dacă se înregistrează simultan cu un aparat de filmat indicația acului de dinamometru și cursa corespunzătoare a contactului

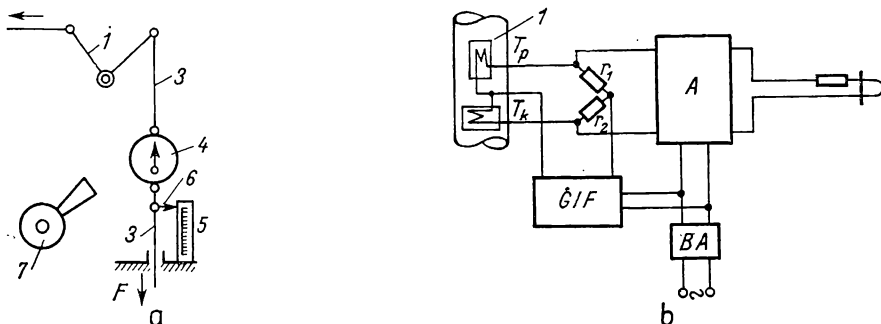


Fig. 6.7. Schema de înregistrare a forței de tracțiune a dispozitivului de acționare în regim dinamic cu aparat de filmat (*a*) și cu o punte tensometrică (*b*);

1 — manivela de acționare a întreruptorului; *2* — tija de acționare a întreruptorului; *3* — tija de cuplare a întreruptorului cu dispozitivul de acționare; *4* — dinamometru; *5* — placă gradată fixă; *6* — indicator de deplasare a tijei; *7* — aparat de filmat; *BA* — bloc de alimentare *GIF* — generator de înaltă frecvență; *A* — amplificator.

mobil. Din cele două indicații se construiește curba de variație a forței antagoniste (sau a cuplului rezistent) în funcție de cursa contactului în regim dinamic.

Aceleași mărimi se pot ridica mai exact prin traductoare rezistive lipite pe arborele motor al mecanismului de acționare al aparatului (fig. 6.7, *b*).

6.4. Verificarea anduranței mecanice a aparatelor

Conform recomandărilor CEI, a prevederilor standardelor naționale și a prescripțiilor utilizatorului, anduranța mecanică a aparatelor de comutație de înaltă tensiune nu se verifică în mod identic. Astfel, de exemplu, conform Publicației 56—2 a CEI aparatajul de comutație trebuie să reziste la 1 000 manevre, după standardul britanic la 500 manevre, iar după prescripțiile utilizatorului englez CEGB de echipament electric la 2 000 manevre. Deși standardul francez impune 1 000 de manevre pentru probe de anduranță mecanică, utilizatorul francez al echipamentului (EdF) cere ca aparatajul electric să reziste la 10 000 manevre, ca și cei japonezi. Pe plan mondial, în ultimul timp, se remarcă o tendință de creștere a numărului de manevre obligatorii avînd ca scop îmbunătățirea fiabilității acestor aparate de responsabilitate maximă pentru siguranța sistemului electroenergetic. Numărul de manevre impus aparatajului electric de joasă tensiune este cu 1—2 ordine de mărime mai mare decît cel impus aparatajului de înaltă tensiune, ținînd cont de frecvența lui de conectare mult mai mare.

Încercarea de anduranță mecanică trebuie să fie efectuată cu aparatul complet montat, echipat cu toate accesoriile și racordurile la restul elementelor din schemă. Astfel, de exemplu, pentru proba de anduranță mecanică a întreruptoarelor, trebuie să fie simulată forța portantă care acționează pe bornele aparatului din partea liniei de racord (sute de daN). Verificarea anduranței mecanice trebuie să fie efectuată în regimuri specifice de exploatare (cicluri RAR etc.). Se recomandă ca în timpul probelor să fie măsurați periodic timpii de funcționare a organelor de comandă, vitezele de deplasare a mecanismelor etc.. O parte din manevre este recomandabil să se facă în condițiile cele mai defavorabile de funcționare a aparatului în exploatare (cu depuneri de chiciură, în mediu de umezeală caldă, la variații bruște de temperatură etc.). Aparatul se consideră că a rezistat la această încercare dacă după probe poate să conducă lung timp curentul nominal și poate să rupă curenții trecuți pe etichetă.

7. Încercarea dispozitivelor de stingere a arcului electric

7.1. Severitatea condițiilor de încercare

Dispozitivelor de stingere a arcului electric a aparatelor electrice de înaltă și de joasă tensiune li se impun condiții tehnice de detaliu dintre cele mai complexe, pe lîngă condițiile tehnice generale enumerate în partea I.

O serie de condiții se referă la *valoarea și forma curentului* pe care dispozitivul de stingere trebuie să-l întrerupă la încercarea aparatelor de comutație. În cadrul acestor condiții se precizează valoarea componentei periodice a curentului de rupere, ponderea componentei aperiodice, durata maximă a arcului electric și panta de scădere a curentului înaintea trecerii prin zero (la încercarea dispozitivelor de stingere în scheme sintetice). Astfel, de exemplu, într-o rețea de 110 kV, cu puterea de scurtcircuit-plafon de 6 GVA, cu raportul

$$\frac{X_0}{X_1} = 0{,}5 \ldots 3;\ \frac{R_0}{X_1} = 0 \ldots 1,$$

unde: X_0 este reactanța homopolară; X_1 — reactanța directă și R_0 este rezistența homopolară a rețelei văzute de la locul de defect, curenții de scurtcircuit vor fi următorii:

— în caz de scurtcircuit trifazat .... 31,5 kA;
— în caz de scurtcircuit bifazat fără punere la pămînt .... 28 kA;
— în caz de scurtcircuit bifazat cu punere la pămînt .... 28...36 kA;
— în caz de scurtcircuit monofazat .... (19...38) kA.

Rezultă că dispozitivul de stingere, în aceste condiții, trebuie să rupă un curent de scurtcircuit de circa 40 kA. Ponderea componentei aperiodice a curentului întrerupt în camerele de stingere ale întreruptoarelor moderne este de circa 30% (ponderea exprimată procentual, în general, depinde de rapiditatea de funcționare a întreruptorului, de timpii de protecție și de parametrii circuitului). Calea de curent din camera de stingere trebuie să reziste din punct de vedere termic și dinamic la curenți de stabilitate termică și dinamică care în exemplul precedent vor fi 40 kA (de 1 ... 3 s), iar valoarea de vîrf de circa

100 kA (ponderea componentei aperiodice a curentului la primul vîrf considerată de 80%).

În regimurile: defect kilometric, defectul evolutiv, discordanță de fază, deconectarea transformatoarelor în gol sau a liniilor în gol, curenții de rupere sînt mai mici decît în regimul scurtcircuitului pe borne. Astfel, de exemplu, la întreruptorul de 110 kV analizat, curentul de întrerupere în regimul discordanței de fază va fi de minim 10 kA; în regimul deconectării liniei în gol de minimum 31,5 A; iar în regimul deconectării transformatoarelor în gol de 5 ... 15 A (fără să se țină cont de reactanța de compensare din înfășurarea terțiară).

Condiții de încercare mai complicate se impun *valorii și formei tensiunii de restabilire* prezumate a circuitului de încercare care trebuie să fie aplicată camerei de stingere examinate. În cadrul acestor condiții se definesc componentele staționare (cvasistaționare) și tranzitorii ale tensiunii de restabilire care trebuie să apară pe bornele dispozitivului de stingere. La aparatele electrice de înaltă tensiune componenta tranzitorie este definită fie prin metoda celor doi parametrii (circuite cu o singură frecvență) fie prin metoda celor patru parametrii (circuite cu mai multe frecvențe proprii), conform celor specificate în Publicația 56-2 și 56-4 a CEI și cap. 8 al prezentei lucrări, iar la aparatele de joasă tensiune se folosește numai metoda bazată pe definirea tensiunilor tranzitorii prin coeficienți de amplitudine și frecvențe proprii (metoda celor doi parametrii).

Astfel, de exemplu, la un întreruptor de înaltă tensiune cu n camere de stingere pe fază, valoarea maximă a tensiunii de restabilire de frecvență industrială (axa oscilațiilor libere), care trebuie să fie asigurată la încercare, se determină din relația

$$U_R = k_p \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_N \frac{k_{rn}}{n}, \qquad (7.1)$$

în care: k_p este coeficientul primului pol al întreruptorului în care se stinge arcul electric;

Observație: $k_p = 1{,}3$ pentru rețele cu neutrul legat efectiv la pămînt;
$k_p = 1{,}5$ pentru rețele cu neutrul nelegat efectiv la pămînt;

U_N — tensiunea nominală a întreruptorului (sau tensiunea maximă de serviciu a rețelei);

k_{rn} — coeficientul care ține cont de repartiția neuniformă a tensiunii pe cele n camere de stingere înseriate (valoarea lui se determină experimental, urmînd ca pentru încercarea unei singure camere să se aleagă valoarea cea mai mare);

n — numărul de camere de stingere înseriate.

Tensiunea tranzitorie de restabilire în general se definește prin metoda celor doi sau patru parametrii, ilustrată în Fig. 8.12 și 8.13. În afară de aceasta, în ultimul timp se acordă o atenție deosebită tensiunii tranzitorii de restabilire inițiale (TTRI), din perioada primelor μs după trecerea curentului prin zero (fig. 7.1).

Tensiunea tranzitorie de restabilire după metoda celor patru parametrii este deosebit de greu de asigurat în unele scheme sintetice, dar și în schemele de încercări directe. Astfel, de exemplu, la încercarea unui întreruptor de 110 kV în regim de scurtcircuit la borne, parametrii nominali ai tensiunii tranzitorii de restabilire prezumate (TTRP), care nu sînt influențați de întreruptorul examinat, vor fi următorii:

$U_1 = 130$ kV; $t_1 = 130$ μs; $U_c = 182$ kV; $t_2 = 390$ μs $t_d = 2{,}6$ μs. Uneori se impune și panta TTRP, care în cazul exemplificat va fi de 1 kV/μs.

Aceiași parametrii în regimul defectului kilometric, care privesc circuitul de alimentare (circuitul în amonte de întreruptor), vor fi: 100 kV, 150 μs, 140 kV, 450 μs, 3μs respectiv 0,67 kV/μs.

Tensiunea de restabilire a porțiunii de linie deconectată se definește prin doi parametrii: factorul de amplitudine a primului vîrf și factorul pantei de creștere a TTRP. Aceste mărimi, în cazul dat ca exemplu, vor fi de 1,6 respectiv 0,2 kV/kA · μs.

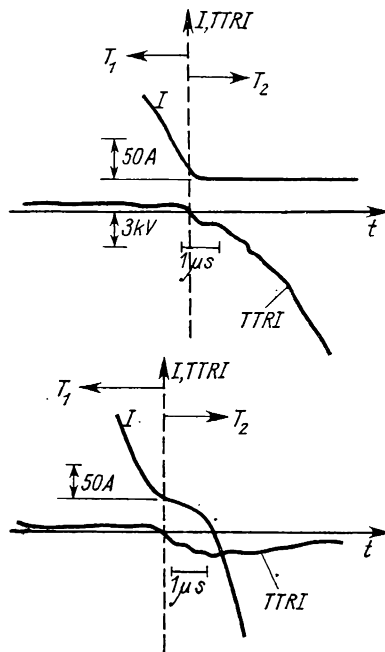


Fig. 7.1. Variația tensiunii tranzitorii de restabilire inițiale (TTRI) la un întreruptor de mare putere (U_R = = 100 kV, I_R = 40 kA) la o rupere reușită (*a*) și nereușită (*b*) a arcului electric:
T_1 — perioada arcului; T_2 — perioada post-arc.

În cazul discordanței de fază, componenta staționară a tensiunii de restabilire poate să atingă sau chiar să depășească dublul tensiunii nominale de fază a aparatului, iar tensiunea tranzitorie de restabilire se definește prin aceiași parametrii ca și în cazurile precedente, dar cu alte valori. Astfel, de exemplu, în cazul analizat al întreruptorului de 110 kV cei 4 + 1 parametri la stingerea arcului în regimul discordanței de fază vor fi 173 kV, 260 μs; 213 kV, 780 μs respectiv 0 μs (timpul nominal de întîrziere se neglijează).

În regimul deconectării liniilor în gol, a transformatoarelor în gol și a bateriilor de condensatoare, standardele naționale și recomandările internaționale nu definesc cu aceeași exactitate parametrii TTRP ca în cazurile analizate, fiind în curs lucrări de stabilire a severității condițiilor de încercare și în acest domeniu.

Factorul de putere cos φ, raportul $\frac{R}{X}$ sau constanta de timp $\frac{L}{R}$ a circuitului în amonte și/sau în aval de aparatul de comutație joacă și ele un rol foarte important în ce privește condițiile de încercare a dispozitivelor de stingere a arcului electric.

Valoarea acestor mărimi depinde de tipul aparatului încercat. Astfel, de exemplu, întreruptoarele de putere de înaltă tensiune trebuie să stingă

arcul electric la cos $\varphi \leqslant 0{,}15$. Separatoarele de sarcină trebuie să comute circuitul la cos $\varphi \geqslant 0{,}7$, aparatele de comutație de joasă tensiune trebuie să întrerupă circuite cu constante de timp L/R care variază în limitele 1 ... 10 ms.

Secvențele nominale de manevră, care trebuie să fie asigurate în timpul încercării dispozitivelor de stingere a arcului electric, impun condiții severe atît față de aparatul investigat, cît și față de instalația de încercare. Astfel, de exemplu, la întreruptoare de înaltă tensiune sînt prevăzute cinci secvențe nominale de manevră (v. cap. 8). La unele din aceste secvențe, reglarea mărimii curentului de întrerupt și dozarea corespunzătoare a componentei aperiodice la a doua declanșare, după o pauză de curent foarte scurtă (0,3 ... 0,5 s) crează dificultăți deosebite pentru experimentator și pentru instalația de încercare prin condițiile suplimentare impuse (vezi STAS 3686/1-74).

În cele ce urmează se expun numai cîteva tehnici practicate în cadrul cercetării experimentale a majorității dispozitivelor de stingere a arcului electric de joasă și de înaltă tensiune.

7.2. Înregistrarea curentului de rupere

Pentru înregistrarea curentului de rupere cel mai indicat este să se folosească oscilografe catodice cu baleiaj mecanic (tambur rotativ) sau electric, cu mai multe tuburi catodice [71, 72, 73]. Caracteristicile unor astfel de oscilografe folosite de constructor și de utilizatorii aparatelor electrice din R.S.R. sînt redate în tabelul 7.1.

Oscilograful mai lent din tabel nu are amplificatoare sau atenuatoare pe cele 12 canale ale sale și din acest motiv, în caz de nevoie, semnalul de oscilografiat se amplifică sau se atenuează separat. Devierea pe verticală se face, fie pe cale electrostatică (prin plăci), fie pe cale magnetică (prin bobine de impedanțe diferite).

Pentru înregistrarea unor fenomene mai rapide (curentul de reamorsare a arcului, curentul de topire al siguranței etc.) se folosesc oscilografele cu baleiaj electric, ca de exemplu cel de tipul 3 KO din tabel.

Curentul de rupere poate fi înregistrat în limitele de sensibilitate specifice oscilografului (care stă la dispoziție), folosind în acest scop fie bobinele, fie plăcile de deflexie a spotului.

● Înregistrarea curentului prin *devierea electrostatică* a spotului se bazează pe transformarea semnalului de curent într-un semnal de tensiune proporțional. Semnalul de curent se obține de la transformatoare de curent cu și fără miez de fier, șunturi etc., se trece printr-o rezistență, iar căderea de tensiune astfel obținută se amplifică (dacă este cazul) și se aplică pe plăcile de deflexie verticale. Dacă la înregistrare se utilizează șunturi neinductive cu o cădere de tensiune de 2 V, atunci este necesară utilizarea unor amplificatoare de semnal cu factor de amplificare de cel puțin 30 ... 50. Este avantajos să se utilizeze șunturi de rezistență și de cădere de tensiune mai mare (de ex. 6 V), deoarece intercalarea amplificatorului și constanta de timp mai mare a șunturilor de valoare mai mică (2 V) strică fiabilitatea funcționării și fidelitatea de înregistrare a schemei.

Caracteristicile principale ale unor oscilografe folosite în România de constructorul şi utilizatorul aparatelor electrice pentru investigarea dispozitivelor de stingere a arcului electric

A. *Pentru fenomene lente*

Nr.	Denumirea caracteristicii	Tipul oscilografului	
		120 OEM3	12 LS-1
1	Provenienţă	VEI (URSS)	RFT (RDG)
2	Numărul total de canale de înregistrare	12	12
3	Gama de frecvenţe a semnalului de înregistrat (kHz)	0...50	0...4
4	Sensibilitatea de înregistrare a) pentru tensiune, mm/V b) pentru curent, mm/mA	0,13 0,50 50 10	1,2 1600
5	Viteza maximă, (fotografică) de scriere, km/s	3	2,7
6	Viteza liniară de deplasare a hîrtiei, m/s	0,5...50	0,05...4,5
7	Durata maximă de deblocare a spotului, s	1	300

B. *Pentru fenomene rapide* (3K0)

Nr.	Denumirea caracteristici	
1	Provenienţă	VEI (U.R.S.S.)
2	Tensiunea maximă de accelerare a tubului, kV	20
3	Sensibilitatea corespunzătoare tensiunii maxime a tubului, mm/V	0,06
4	Limitele baleiajului, s/cm	0,62...1000
5	Viteza maximă (fotografică) de scriere, km/s	10 000
6	Valoarea de amplitudine a impulsului de sincronizare, V	400
7	Perioada oscilaţiilor de etalonare a bazei de timp, μs	1; 10; 100; 500

• Înregistrarea curentului de rupere prin *devierea magnetică* a spotului este mai sigură şi mai simplă, decît prin devierea electrostatică prezentată mai sus.

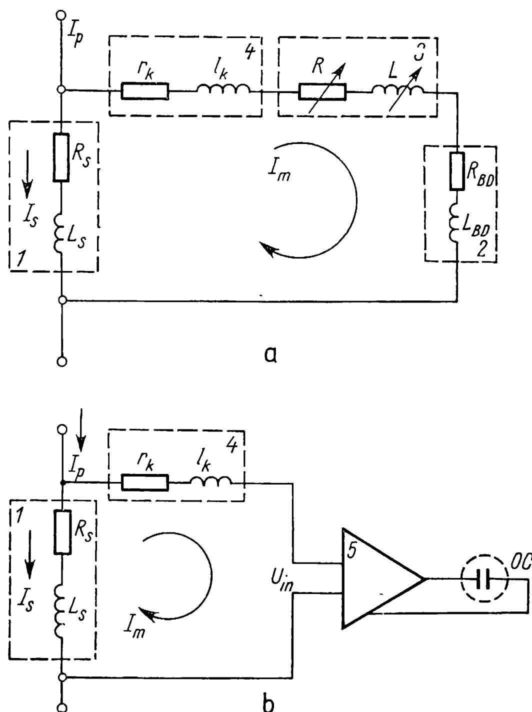


Fig. 7.2. Schema de înregistrare a curentului de rupere cu ajutorul şuntului slab inductiv, folosind devierea magnetică (*a*) şi electrostatică a spotului (*b*):

1 — şunt rezistiv slab inductiv; *2* — bobina de deflexie a oscilografului; *3* — rezistenţa de adaptare a circuitului de măsură; *4* — cablul de măsură; *5* — amplificator.

Schema de principiu folosită cel mai des la înregistrarea curentului de rupere bazată pe utilizarea şunturilor (cilindrice şi coaxiale), este dată în fig. 7.2.

Raportul de divizare a schemei de înregistrare se poate obţine din ecuaţiile lui Kirchhoff în forma următoare

$$k_s = \frac{I_p}{I_m} = \frac{R_s\,(1 + j\omega T_s) + (R_{BD} + r_k + R)\ \ (1 + j\omega T_m)}{R_s(1 + j\omega T_s)} \tag{7.2}$$

unde: I_p şi I_m sînt curentul din circuitul primar respectiv din circuitul de măsură;

R_s — rezistenţa ohmică (activă) a şuntului;

R_{BD} — rezistența ohmică a bobinei de deflecție;

R — rezistența de adaptare a schemei de înregistrare pentru un raport de divizare impus;

$T_s = \frac{L_s}{R_s}$ — constanta de timp a șuntului;

$T_m = \frac{L_{BD} + l_k + L}{R_{BD} + r_k + R}$ — constanta de timp a circuitului de măsură;

L_s, l_k și L — inductanțele șuntului, cablului și respectiv a rezistenței de adaptare.

În ipoteza că cele două constante de timp se aleg egale expresia (7.2) se simplifică

$$k_s = \frac{I_p}{I_m} = \frac{R_s + R_{BD} + r_k + R}{R_s}. \tag{7.3}$$

Expresia (7.3) este identică cu raportul de divizare a schemei în curent continuu.

Evident că schema echivalentă din fig. 7.2 și expresiile (7.2), (7.3) sînt valabile în domeniul frecvențelor relativ joase (1 ... 2 kHz), unde cablul coaxial poate fi reprezentat prin parametrii concentrați și efectul de cîmp se neglijează. În afară de aceasta, în practică, de obicei $T_s < T_m$ și în consecință experimentatorul trebuie să țină cont de erorile de raport și de fază a schemei față de cele calculate și etalonate în prealabil după relația (7.3) și în curent continuu. Eroarea de înregistrare datorită acestor cauze poate fi micșorată prin modificarea constantei de timp a șuntului (prin conectarea unei inductanțe în serie cu șuntul și prin ecranarea acesteia împotriva cîmpurilor exterioare perturbatoare) sau a circuitului de măsură (prin mărirea rezistenței ohmice incluse în circuitul de măsură adică prin insensibilizarea înregistrării). Este mai avantajoasă egalarea constantelor de timp pe calea modificării, în sensul creșterii, a constantei de timp T_s și pe calea standardizării circuitului de înregistrare. Astfel s-a procedat și la EdF, introducînd unificarea circuitelor de înregistrare pe bază de un cablu coaxial de 200 m lungime, de 4 mm^2 secțiune, avînd $r_k = 1\ \Omega$ și $l_k = 100\ \mu$H.

Dacă adaptarea circuitelor din motive practice nu este realizabilă, eroarea de raport și de fază a schemei se evaluează printr-o etalonare corespunzătoare, conform schemei din fig. 7.3.

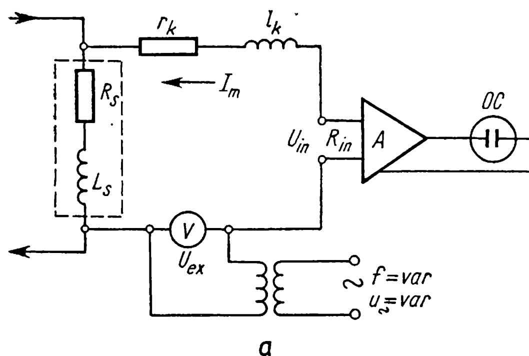
● În cazul *deflexiei electostatice* a spotului, circuitul de măsură se etalonează cu o tensiune egală cu căderile de tensiune pe șunt (de ex. pînă la 2 V) amplificată și se măsoară deviația verticală a spotului pe ecranul oscilografului.

Tensiunea de intrare a amplificatorului U_{in} în condițiile $I_m \ll I_p$ se poate scrie

$$U_{in} \approx U_s \frac{R_{in}}{r_k + R_{in}}. \tag{7.4}$$

Eroarea care provine din faptul că $U_{in} < U_s$ se elimină prin această metodă de etalonare, deoarece în acest caz:

$$U_{in} \approx U_{ex} \frac{R_{in}}{r_k + R_{in}}, \tag{7.5}$$



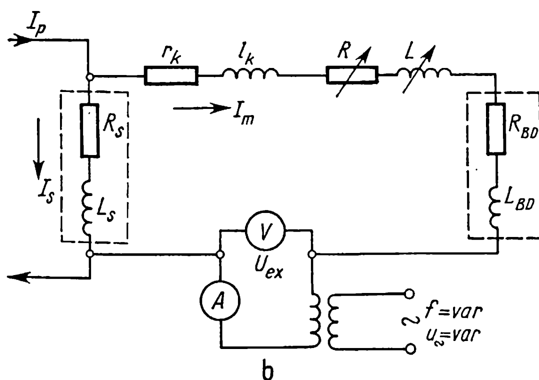


Fig. 7.3. Schema de etalonare a circuitului de măsură folosită la înregistrarea curentului de rupere prin deflecxa magnetică (*b*) sau electrostatică (*a*) a oscilografelor folosind şunturi slab inductive.

ţinînd cont că $U_{ex} = U_s = U_p$ şi $R_s \ll R_{in}$ (la etalonare cablul şi impedanţa de intrare a amplificatorului reduce tensiunea de intrare U_{in} în aceeaşi măsură).

● În cazul deflexiei magnetice a spotului, rezistenţa şuntului şi a circuitului de măsură nu se deosebeşte foarte mult, şuntul nu poate fi considerat ca o sursă de putere infinită (cu impedanţă internă egală cu zero) şi din acest motiv pe lîngă tensiunea introdusă se măsoară şi curentul din circuitul de măsură

$$I_m = \frac{U_{ex}}{Z_s + Z_m}, \tag{7.6}$$

unde: U_{ex} este valoarea măsurată a tensiunii introduse în circuitul de măsură din partea unei surse exterioare;

Z_s — impedanța șuntului de măsură;

Z_m — impedanța rezultantă a circuitului de măsură.

Raportul de divizare a şuntului, cu condiția respectării $U_{ex} = U_s$ **pentru** un curent I_s, se va determina din relația

$$K_s = \frac{I_s}{I_m}. \tag{7.7}$$

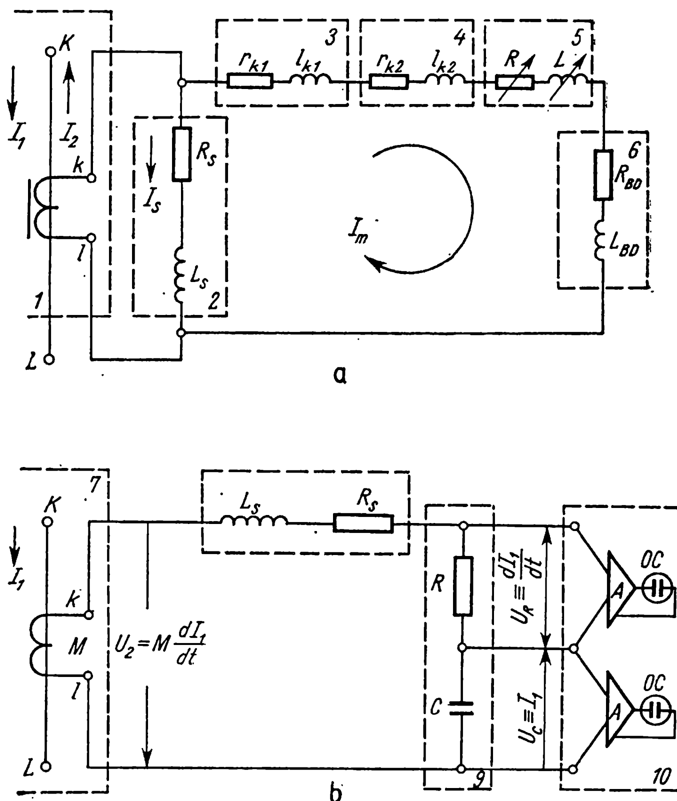


Fig. 7.4. Schema echivalentă de înregistrare a curentului de rupere cu ajutorul șuntului conectat în secundarul transformatorului de curent cu miez de fier (*a*) și cu circuit de integrare conectat în secundarul transformatorului de curent fără miez de fier (*b*):

1 — transformator de curent cu miez de fier; *2* — șunt rezistiv; *3* — circuitul secundar pînă la șirul de cleme; *4* — cablu coaxial; *5* — rezistența de adaptare a circuitului de măsură; *6* — bobina de deflexie a oscilografului; *7* — transformatorul de curent fără miez de fier; *8* — inductanța și rezistența circuitului secundar; *9* — circuitul de integrare; *10* — circuitul de înregistrare a mărimilor I_1 și $\frac{dI_1}{dt}$.

În scopul de a obține o cifră rotundă pentru curentul I_m, se modifică elementele R și L din schemă (rezistența de adaptare), controlînd valoarea tensiunii externe introduse U_{ex}. În continuare se măsoară deviația spotului pe ecran, în mm, care corespunde curenților I_p (adică U_s) și I_m astfel corelați.

Metodele de adaptare și de etalonare a circuitelor de măsură analizate mai sus sînt valabile și în cazul înregistrării curenților prin transformatoare de curent, unde semnalul se înregistrează (prin deflexie electrostatică sau magnetică) tot cu ajutorul unui șunt, dar de rezistență mult mai mare, din secundarul transformatorului de curent cu miez de fier sau fără miez, dar cu circuit de integrare (circuit RC, integrator Miller, amplificator-integrator) racordat la aceleași secundare (fig. 7.4). Acest sistem de măsurare a curentului, utilizat pe larg pînă în prezent în circuitele izolate, se pare că își va ceda locul sistemului cu șunt cilindric sau coaxial izolat, de la care semnalul se recoltează prin fibre optice și diode luminescente.

7.3. Înregistrarea tensiunilor de restabilire

Tensiunile de restabilire se înregistrează prin intermediul unor divizoare și oscilografe potrivite. Baleiajul oscilografelor utilizate în acest scop, în unele cazuri speciale (de exemplu la înregistrarea tensiunilor tranzitorii de restabilire în regimul defectului kilometric) trebuie să fie mai rapid decît cele utilizate la înregistrarea curenților de rupere. În majoritatea cazurilor însă se pot folosi aceleași oscilografe racordate la brațul de măsură a divizoarelor de tensiune

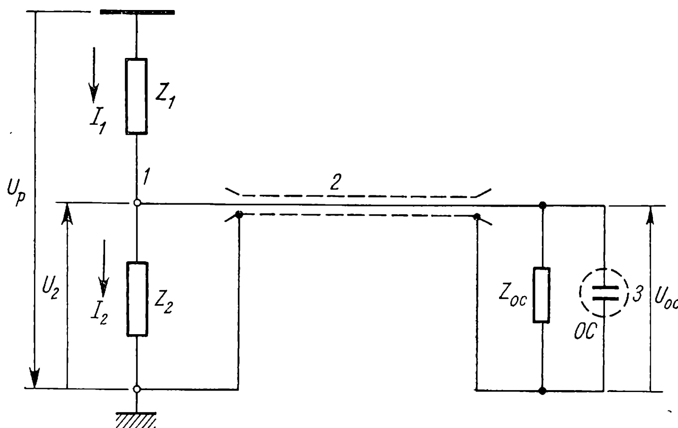


Fig 7.5. Schema generală de principiu folosită la înregistrarea tensiunii de restabilire:
1 — divizor de tensiune; *2* — cablu coaxial; *3* — oscilograf catodic.

sau pe bornele secundare ale transformatoarelor de tensiune prin cabluri de măsură coaxiale (triaxiale sau dublu coaxiale) și amplificatoare avînd caracteristici de frecvență și timpuri de răspuns potrivite. Schema de înregistrare a tensiunii de restabilire este dată în fig. 7.5.

Tensiunea care apare pe plăcile oscilografului U_{0c}, ţinînd cont de parametrii divizorului şi a cablului de măsură se exprimă prin relaţia [71]

$$U_{0c} = U_p \frac{\dfrac{Z_2 Z_{0c}}{Z_1 + Z_2}}{\left(Z_{0c} + \dfrac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2}\right) \mathrm{ch}\beta l + \mathrm{j} \left(Z_0 + \dfrac{Z_{0c}}{Z_0} \cdot \dfrac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2)}\right) \mathrm{sh}\beta l}, \quad (7.8)$$

în care: U_p este tensiunea primară de măsurat, în V;

Z_1 — impedanţa braţului de înaltă tensiune a divizorului, în Ω;

Z_2 — impedanţa braţului de măsură a divizorului, în Ω;

Z_{0c} — impedanţa prin care se şuntează bornele de intrare pe plăcile de deflexie verticale ale oscilografului;

$Z_0 = \sqrt{\dfrac{r_k + \mathrm{j}\omega l_k}{G_k + \mathrm{j}\omega C_k}}$ — impedanţa caracteristică a cablului

$$\beta = \omega\sqrt{l_k C_k} \left[1 + \frac{1}{8\omega^2}\left(\frac{r_k}{l_k} - \frac{G_k}{C_k}\right)^2\right];$$

$$\omega = 2\pi f, \text{ în } 1/\mathrm{s};$$

R_k, l_k, G_k şi C_k sînt parametrii caracteristici ai cablului de măsură în Ω/m, H/m, S/m respectiv F/m.

Expresia (7.8) se simplifică dacă cablul de măsură se consideră ideal ($R_k = 0$, $G_k = 0$) în sensul că în locul funcţiilor ch βl şi sh βl vor apărea funcţiile armonice cos βl şi sin βl.

● Cele mai simple *divizoare* utilizate sînt cele *ohmice*, schema de principiu a lor este dată în fig. 7.6.

Mărimea semnalului în acest caz pe plăcile oscilografului va fi exprimată printr-o relaţie similară cu cea din expresia (7.8), cu deosebire că în locul lui Z_1, Z_2 şi Z_{0c} vor veni R_1, R_2, şi R_{0c}. La frecvenţe mici (pînă la circa 1 kHz), şi în cazul unui cablu ideal (fără pierderi şi distorsiuni) şi cu ponderea mică a inductivităţilor se poate utiliza şi expresia aproximativă

$$U_{0c} = U_p \frac{R_2 R_{0c}}{R_1 R_2 + R_1 R_{0c} + R_2 R_{0c} + \mathrm{j}\omega C_k l R_1 R_2 R_{0c}}. \quad (7.9)$$

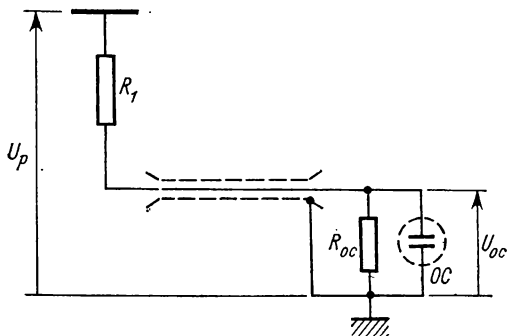
Schema de înregistrare bazată pe utilizarea divizoarelor ohmice practic nu depinde de panta de variaţie a tensiunilor de restabilire (în domeniul kHz) dacă se respectă cel puţin următoarele criterii:

$$R_{0c} = Z_0 \quad (7.10)$$

şi/sau

$$\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = Z_0. \quad (7.11)$$

● *Divizoarele capacitive* se utilizează de asemenea pe scară largă la înregistrarea tensiunilor tranzitorii de restabilire (fig. 7.7). Pentru anihilarea fenomenelor de reflexie a semnalelor rapid variabile de la cele două capete ale ca-



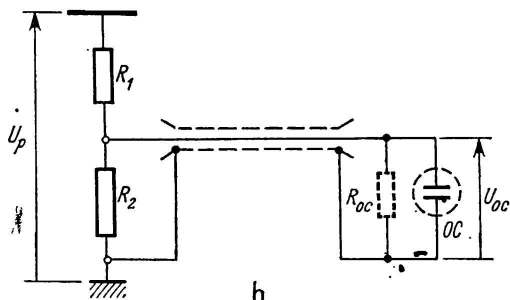


Fig. 7.6. Scheme de înregistrare a tensiunii de restabilire cu ajutorul divizoarelor rezistive:
a — schema lui Gábor, $R_{oc} = Z_0$; *b* — schema generală, $R_{oc} = \infty$ şi $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = Z_0$, unde Z_0 este impedanța caracteristică a cablului.

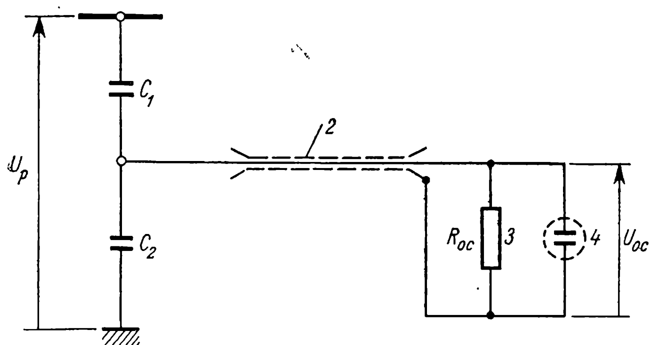


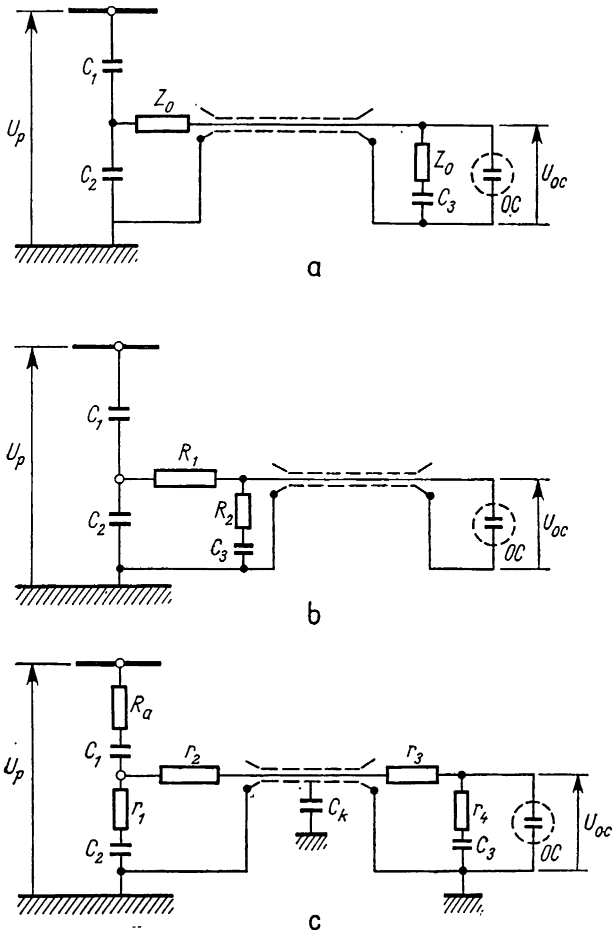
Fig. 7.7. Schema de principiu folosită la înregistrarea tensiunii de restabilire cu ajutorul divizorului capacitiv:
1 — divizor; *2* — cablul coaxial; *3* — rezistență de amortizare a oscilațiilor; *4* — oscilograf catodic.

blului şi pentru ca înregistrarea să fie independentă de panta de variaţie a tensiunilor de restabilire, circuitul se adaptează în mod corespunzător cu rezistenţa de atac R_a şi rezistenţele de atenuare r_1, r_2, r_3 şi r_4 ca în fig. 7.8.

Tensiunea care va apărea pe plăcile oscilografului în acest caz va fi exprimată prin relaţia

$$U_{oc} = U_p \frac{C_1}{C_1 + C_2 + \dfrac{1}{j\omega Z_0}} e^{-j\beta l}, \tag{7.12}$$

unde $R_{0c} = Z_0$. Rezultă că schema de înregistrare din fig. 7.7, bazată pe utilizarea divizorului capacitiv, este dependentă de frecvenţa semnului. Această dependenţă este diminuată în mare măsură prin schemele propuse de Burch, Blomberg şi Paşin (fig. 7.8).



Fig, 7.8. Schema lui Burch (*a*), Blomberg (*b*) şi Pasin (*c*) folosite pentru înregistrarea tensiunilor tranzitorii prin intermediul divizoarelor capacitive.

În schema lui Burch divizorul capacitiv va reda fidel forma tensiunii de restabilire dacă se respectă relaţia

$$C_1 + C_2 = C_k + C_3. \tag{7.13}$$

Acelaşi criteriu în cazul schemei lui Blomberg se satisface prin relaţiile următoare:

$$\frac{R_1}{Z_0} = 1 + \frac{2}{3}\,\eta; \tag{7.14}$$

$$\frac{R_2}{Z_0} = \frac{R_1/Z_0}{R_1/Z_0 - 1} \tag{7.15}$$

şi

$$\frac{C_3}{C_1 + C_2} = \frac{\left(\frac{R_1}{Z_0 - 1}\right)^2}{\frac{2R_1}{Z_0 - 1}}, \tag{7.16}$$

în care: $\eta = \frac{C_k}{C_1 + C_2}$.

În cazul schemei lui Paşin criteriile respective vor fi următoarele:

$$C_1(r_2 + r_3) = (C_2 + C_3)r_4; \tag{7.17}$$

$$C_2 r_1 = C_3(r_2 + r_3 + r_4) \tag{7.18}$$

şi

$$r_1 + r_2 = r_3 + r_4 \approx Z_0. \tag{7.19}$$

În practica experimentării dispozitivelor de stingere a arcului electric, tensiunile de restabilire care variază mai lent de regulă se înregistrează cu divizorul ohmic şi cele cu variaţie mai rapidă cu divizoare capacitive. Asocierea avantajelor pe care le prezintă cele două tipuri de divizoare la frecvenţa joasă şi înaltă a dus la realizarea unor divizoare mixte ohmice — capacitative, unde rezistenţele şi capacităţile elementare se leagă în paralel (construcţii mai vechi) sau în serie (construcţii mai noi), sau combinaţia lor (vezi fig. 7.17) [72].

Criteriul de independenţă faţă de frecvenţa tensiunii tranzitorii de restabilire, în cazul divizoarelor mixte paralele, este

$$R_1C_1 = R_2C_2, \tag{7.20}$$

unde la valoarea lui R_2 trebuie să fie adăugată şi rezistenţa de adaptare a cablului (de exemplu impedanţa caracteristică) amplasată la un capăt.

Rezistențele elementare montate în paralel cu condensatoarele elementare, în afară de funcția lor exprimată prin relația (7.20), contribuie și la repartizarea mai uniformă a tensiunii de-a lungul divizorului.

Rezultate optime în ce privește fidelitatea înregistrării tensiunilor tranzitorii rapid variabile (de exemplu tensiunea tranzitorie a circuitului aval de întreruptor, în regimul defectului kilometric sau TTRI) se obțin însă cu divizorul capacitiv amortizat, propus de Zaengl și Feser. (v. fig. 3.31). Acest divizor satisface condițiile de fidelitate a înregistrării unor fenomene mult mai rapide decît cele întîlnite practic la încercarea dispozitivelor de stingere a arcului electric din aparatele electrice de înaltă și mai ales de joasă tensiune (de exemplu încercarea cu unde de impuls tăiată).

7.4. Determinarea frecvenței proprii și a factorului de amplitudine a tensiunii de restabilire

Parametrii oscilațiilor libere, frecvența proprie și factorul de amplitudine a tensiunii tranzitorii de restabilire, în toate regimurile de funcționare ale aparatelor de comutație, nu se pot determina pe cale teoretică cu suficientă exactitate. Din acest motiv problema se abordează, de preferință, pe cale experimentală. Schema cea mai simplă de investigare a parametrilor prin care se caracterizează oscilațiile libere în rețelele de joasă tensiune este dată în fig. 7.9.

Conform schemei din fig. 7.9 *a*, într-una din faze, comutația se realizează printr-un ignitron *I* care se stinge la sfîrșitul fiecărei a doua semiperioade. Ignitronul este amorsat printr-un tiratron *T*.

Tensiunea de pe bornele ignitronului se transmite pe plăcile oscilografului catodic *OC*, cu cel puțin două canale de intrare (unul pentru tensiunea tranzitorie de restabilire și altul pentru o tensiune de frecvență variabilă, de etalonare). Metoda nu este suficient de exactă, deoarece curentul post-arc din ignitron (tiratron, tiristor sau chenotron) are o influență destul de mare asupra frecvențelor proprii și mai ales asupra factorului de amplitudine.

Rezultate optime se obțin cu această metodă prin diode de putere, la care curentul post-arc și capacitatea proprie este minimă.

Frecvența proprie și factorul de amplitudine a rețelei, în care dispozitivul de stingere a arcului electric trebuie să realizeze operația de comutație, se determină mai exact prin schema *b* din fig. 7.9. De la o sursă de înaltă frecvență, de putere suficientă, se aplică tensiunea U_{IF} printr-o diodă (Kenatron) pe bornele dispozitivului de stingere. Oscilațiile libere care apar în circuit, la sfîrșitul semiperioadei de curent, se înregistrează cu ajutorul oscilografului catodic *OC*. Frecvența tensiunii sursei nu trebuie să depășească 10% din frecvența oscilațiilor libere prezumate. Pentru a nu distorsiona forma impulsului

de curent, în serie cu sursa de înaltă frecvență se conectează o rezistență adițională R_a. Frecvența acestui curent se alege ca să se asigure cel puțin panta de incidență la trecerea prin zero a curentului real din exploatare înaintea înce-

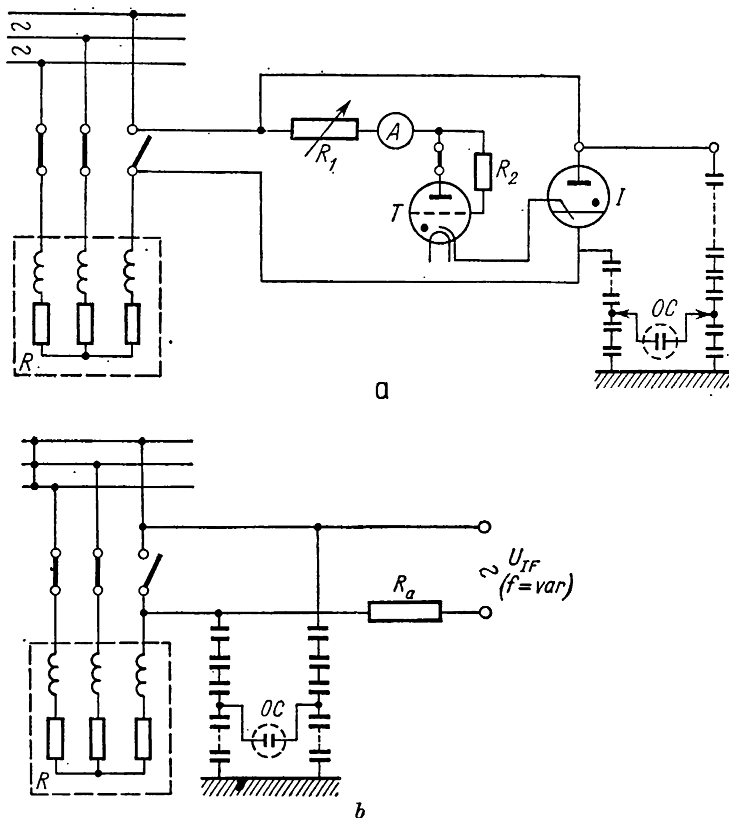


Fig. 7.9. Scheme utilizate pentru determinarea frecvențelor proprii și a factorilor de amplitudine în circuitele electrice sub tensiune (*a*) și fără tensiune (*b*);
I — ignitron; *T* — tiratron; *R* — receptor.

perii fenomenului de restabilire a tensiunii. În rețelele de înaltă tensiune frecvențele proprii se determină cu aparate speciale conform metodelor descrise la cap. 8.

7.5. Ridicarea curbei rigidității dielectrice a intervalului de arc în funcție de timp

Curba de variație în timp a rigidității dielectrice a intervalului de arc este o caracteristică de foarte mare importanță pentru toate tipurile de dispozitive (camere) de stingere a arcului electric. De caracterul acestei curbe de-

pinde dacă la trecerea prin zero a semiperioadei curentului de întrerupt, adică la stingerea naturală a curentului, între contactele aparatelor se restabilește tensiunea rețelei sau se restabilește arcul electric. Pentru ridicarea acestei curbe se pot practica trei metode de bază, descrise mai jos.

● Conform primei metode, imediat după stingerea arcului electric (după cîteva secunde) se aplică o undă aperiodică sau oscilantă de tensiune, corespunzătoare regimului și schemei de comutație (de pantă mai abruptă dacă se deconectează un defect kilometric sau mai puțin abruptă dacă se deconectează o linie lungă). Tensiunea de descărcare dintre contacte (prin canalul de arc încă fierbinte) se determină prin metoda 50% amorsări descrisă la cap. 3. Încercarea se repetă pentru cîteva poziții intermediare ale contactului, apropierea contactelor făcîndu-se prin acționarea lor lentă.

● O variantă mai veche a acestei metode s-a bazat pe ridicarea curbei $U_d = f(t)$ pentru diferite distanțe dintre contacte (adică pentru diferite momente de timp) cu aparatul de comutație de înaltă tensiune în stare rece, fără efectuarea prealabilă a operației de rupere a arcului electric. Evident, că această variantă conduce la erori de măsurare inacceptabile pentru nevoile practice.

● Metoda a doua sau metoda regimurilor critice se bazează pe ridicarea curbei $U_d = f(t)$ prin puncte (fig. 7.10), creînd astfel de regimuri critice la care

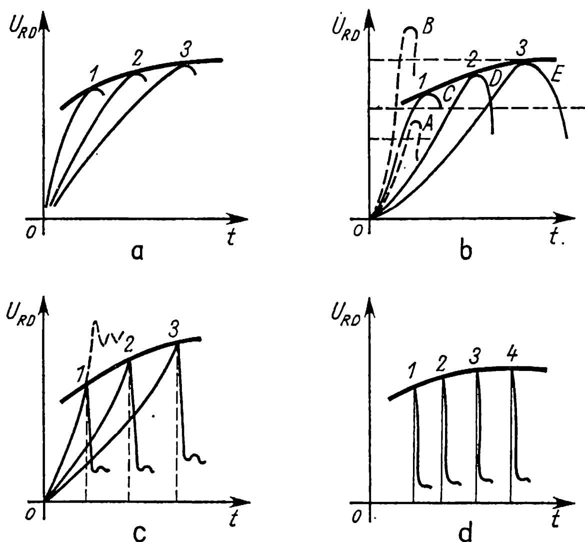


Fig. 7.10. Ilustrații la metoda de ridicare a curbei rigidității dielectrice a canalului de arc:

a — tensiunea tranzitorie de restabilire *TTR* are caracter aperiodic (dispozitivul de stingere se șuntează cu o rezistență); *b* — *TTR* are caracter periodic; *TTR* se reglează prin frecvența proprie (curbele *C*, *D*, *E*) sau prin valoarea *TTR* (curbele *A* și *B*); *c* — *TTR* are caracter periodic și se reglează prin capacitatea de șuntare a camerei de stingere; *d* — se înregistrează tensiunea disruptivă a canalului de arc aplicînd unde de supratensiune de comutație sincronizate.

deja se suprimă reaprinderile sau reamorsările arcului electric, deoarece tensiunea de restabilire pe contacte este insuficientă pentru provocarea descărcării (atît ca mărime, cît şi ca pantă de creştere).

Reglarea acestor regimuri se face prin valoarea tensiunii de restabilire şi prin panta ei de variaţie în timp prin metode cunoscute (de exemplu printr-un şunt *RC* conectat în paralel cu contactele aparatului de comutaţie).

● Metoda a treia se bazează pe măsurarea valorii instantanee a tensiunii de restabilire pentru care se produce reaprinderea sau reamorsarea arcului electric U_{RA} şi a momentului de timp la care are loc descărcarea t_{RA}. Se ridică mai multe puncte pentru diferite pante de creştere a tensiunii de restabilire cu viteze mari de baleiere a spotului. Curba $U_{RA} = f(t_{RA})$, astfel obţinută, va coincide cu curba căutată $U_d = f(t)$.

7.6. Înregistrarea curentului post-arc

Curentul post-arc, care are loc în perioada restabilirii proprietăţilor dielectrice a intervalului de arc, este cu cîteva ordine de mărime mai mic decît curentul de rupere a dispozitivului de stingere (variază de la cîţiva amperi pînă la zeci de amperi). Din acest motiv metodele de înregistrare a curentului descrise la cap. 4 şi la subcap. 7.1 nu sînt adecvate pentru cercetarea acestei caracteristici foarte importante a dispozitivelor de stingere a arcului electric, care are un rol determinant în stabilirea formei tensiunii de restabilire

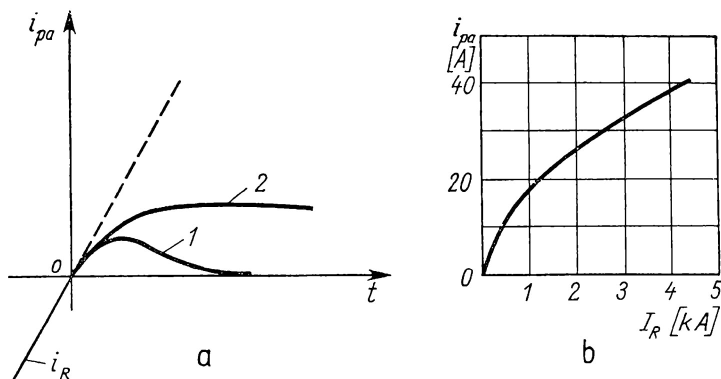


Fig. 7.11. Variaţia tipică a curentului post-arc în timp (*a*) şi în funcţie de valoarea curentului de rupere (*b*) în cazul stingerii acestuia în mediu de bioxid de carbon.

de pe contactele aparatelor de comutaţie. În afară de aceasta, curentul post-arc este un indiciu al eficacităţii camerei de stingere. Dacă variaţia curentului post-arc este cea din fig. 7.11 (curba *1*), se poate conta pe stingerea sigură

a arcului electric. Dacă curentul post-arc rămîne constant un timp mai îndelungat (de exemplu pînă la 1 m s) condițiile de stingere sînt critice (curba *2*), și atunci poate să aibă loc o reaprindere a arcului electric.

Rezultă că curentul post-arc, din punct de vedere al restabilirii arcului electric, trebuie să aibă un maxim după trecerea prin zero a curentului de rupere (curba *1*) și aceasta să fie mai mic decît curentul critic corespunzător pentru regimul, schema de comutație și tipul de dispozitiv de stingere a arcului electric.

Pe de altă parte, din punct de vedere al limitării tensiunii de restabilire sau a supratensiunilor este necesar ca acest curent post-arc să aibă o valoare mai mare, astfel ca supraoscilațiile tensiunilor tranzitorii să fie amortizate mai mult.

Instalația de măsurare a curentului post-arc trebuie să satisfacă condițiile următoare:

— să nu se deterioreze la curenți mari de rupere (de scurtcircuit);

— să fie protejată de influența perturbatoare a cîmpului electromagnetic extern;

— să fie diminuat la maxim posibil fenomenul tranzitoriu rezidual (care are loc chiar și după trecerea prin zero a curentului de rupere).

Schemele cel mai frecvent utilizate pentru înregistrarea curentului post-arc sînt reprezentate în fig. 7.12, 7.13 și 7.14.

Din schemele arătate, cea mai largă răspîndire o are schema bazată pe utilizarea șunturilor neinductive și ecranate. Șuntul trebuie să fie de o rezistență așa de mică, încît să nu influențeze condițiile de stingere a arcului electric și cele de restabilire a tensiunii (de exemplu factorul de putere, curentul de rupere etc.), iar valoarea rezistenței să nu depindă de temperatură (să fie confecționat din manganin sau constantan). În afară de acestea căderea de tensiune inductivă pe șunt, la pante maxime de variație a curentului post-arc trebuie să fie cu cîteva ordine de mărime mai mici decît căderea de tensiune activă, adică

$$i_{pa} \cdot 2\pi f_0 L_s << i_{pa} R_s, \qquad (7.20)$$

de unde constanta de timp a șuntului trebuie să îndeplinească condiția

$$T_s = \frac{L_s}{R_s} << \frac{1}{2\pi f_0}, \qquad (7.21)$$

unde pentru f_0 se poate lua frecvența proprie a tensiunii de restabilire. Pentru nevoile practice este suficient dacă timpul de răspuns a șuntului va fi de ordinul fracțiunilor de microsecunde.

Capacitatea proprie a șuntului trebuie să fie de asemenea mică pentru ca forma curentului post-arc să nu fie distorsionată.

Căderea de tensiune de pe șunt se aplică blocului de limitare cu o dependență dintre tensiunea de ieșire U_{ex} și de intrare U_{in}, similară cu cea reprezentată în fig. 7.12. Blocul de limitare se realizează cu ajutorul diodelor

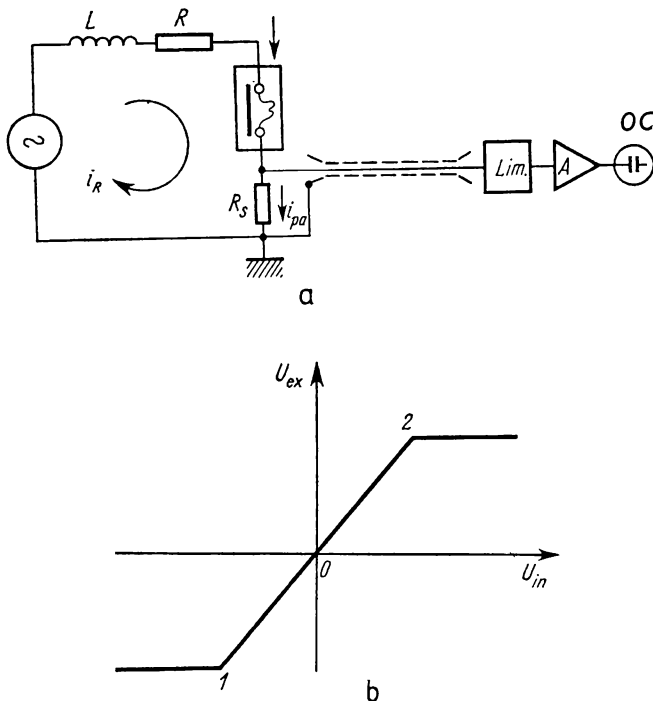


Fig. 7.12. Schema bloc a instalației de înregistrare a curentului post-arc bazat pe utilizarea unui șunt neinductiv (*a*) și dependența dintre tensiunea de ieșire și de intrare a limitatorului *L* (*b*):
Lim — limitator; *A* — amplificator; *Ok* — oscilograf catodic; R_s — rezistența șuntului.

și limitează căderile de tensiune pe șunt la curenții de rupere. Amplificatorul este de bandă largă (de la cîțiva Hz pînă la sute de kHz).

● Curentul post-arc poate fi măsurat în principiu și cu ajutorul transformatoarelor de curent de saturație rapidă (peek-transformer). Dacă materialul circuitului magnetic va avea o curbă de magnetizare de forma celei din figura 7.13, atunci în domeniul intensităților mici de cîmp H, inducția magnetică B va fi proporțională cu curentul post-arc, adică

$$B = \mu H = k_H \, \mu \, i_{pa}(t) \tag{7.22}$$

unde k_H este o constantă.

Înseamnă că variația inducției în zona liniară a curbei de magnetizare va fi în dependență liniară cu curentul post-arc și în înfășurarea secundară se va induce o tensiune electromotoare

$$e_2(t) = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 k'_H \mu \frac{d}{dt} i_{pa}(t). \tag{7.23}$$

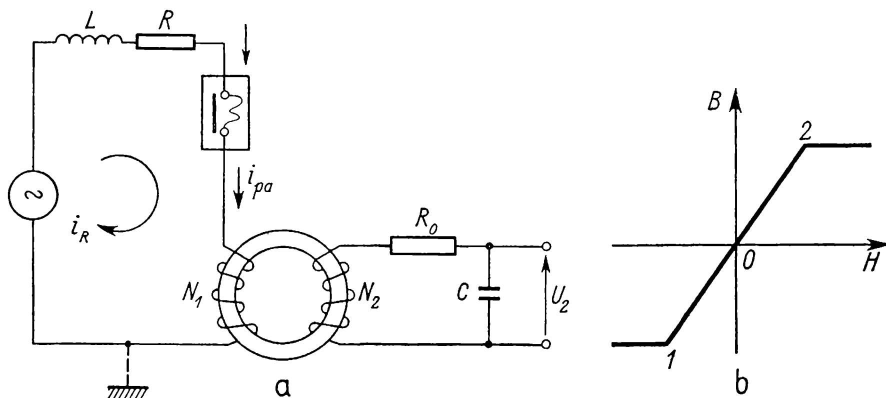


Fig. 7.13. Schema de înregistrare a curentului post-arc cu un transformator de saturație rapidă (peek transformer) și circuit RC de integrare (a) și dependența dintre intensitatea cîmpului magnetic și inducția magnetică din miezul transformatorului (b).

Dacă acest semnal se integrează printr-un circuit RC, tensiunea la ieșire (pe bornele condensatorului C) va fi proporțională cu curentul post-arc, adică

$$U_2 \equiv i_{pa} \approx \frac{1}{RC} \cdot \frac{1}{N_2 k'_H \mu} \int e_2(t)\ dt. \tag{7.24}$$

Inconvenientul principal în folosirea acestei metode constă în curba histerezis, ramurile căreia nu trec prin zero și care nu este constantă (este în funcție de valoarea și caracterul curentului de rupere precedent).

● Cea de a treia schemă de înregistrare a curentului post-arc se bazează pe utilizarea magnetroanelor (lămpi cu anozi de formă specială), așa cum rezultă și din fig. 7.14, *a*. Curentul anodic al magnetronului i_M variază în funcție de intensitatea cîmpului magnetic H creat prin cele N spire învăluitoare. Dacă $H = 0$, între catod și anod circulă curentul nominal i. În caz că $H > 0$, datorită interacțiunii curentului cu cîmpul magnetic o parte din electroni, care părăsesc catodul, nu mai ajung pe anod. Dependența

dintre curentul anodic și intensitatea cîmpului magnetic este redată în fig. 7.14, *b*.

Cu o bobină auxiliară, punctul de funcționare *B* se fixează la mijlocul porțiunii liniare a curbei $i_M = f(H)$, predeterminate prin forma specială și materialul (curenții turbionari trebuie să fie reduși la zero) anodului.

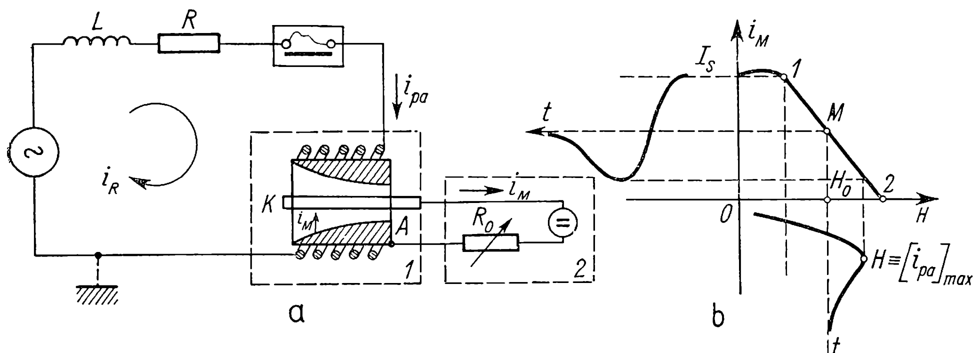


Fig. 7.14. Schema de înregistrare a curentului post-arc cu ajutorul magnetronului (*a*) și variația curentului anodic al magnetronului în funcție de intensitatea cîmpului magnetic *H* și de timp (*b*) (după Eidel):

1 — magnetron; *2* — schema de reglaj a punctului de funcționare a magnetronului; *K* — catod; *A* — anod.

7.7. Măsurarea căderii de tensiune, a puterii dezvoltate în arcul electric și a presiunilor rapid variabile

În cadrul încercărilor cu caracter de cercetare este util să se înregistreze variația căderii de tensiune și a puterii dezvoltate în arcul electric, precum și a altor mărimi fizice importante.

Majoritatea acestor scheme de înregistrare nu se deosebesc în principiu de acelea date în fig. 7.15.

Diodele sînt introduse în schemă pentru limitarea valorii tensiunii de restabilire care urmează după stingerea arcului electric pentru protejarea buclelor de oscilograf. Tensiunea se măsoară prin intermediul unui transformator de tensiune sau un divizor de impedanță potrivită. Prin valoarea rezistenței R_2 se reglează valoarea tensiunii la care intervine efectul de limitare a diodelor. Căderea de tensiune în arc se înregistrează cel mai comod cu un oscilograf magnetoelectric, cînd în locul buclei de putere *BP* se introduce o buclă obișnuită de sensibilitate și de inerție corespunzătoare. Puterea instantanee dezvoltată în arcul electric se înregistrează cu o buclă de putere (ca de exemplu, tipurile WN, 5T, W2, 5T, WNMT și WMT ale oscilografelor firmei Siemens sau tipul LMU4 al oscilografului RFT).

Bobina de tensiune a buclei este alimentată, în acest caz, cu aceeași tensiune ca și la înregistrarea căderii de tensiune în arc. Un aparat de cons-

trucție originală pentru măsurarea puterii dezvoltate în arcul electric a fost realizat în R.S.R.

Presiunea rapid-variabilă din dispozitivul de stingere a arcului electric se poate înregistra cu ajutorul traductoarelor rezistive, capacitive sau

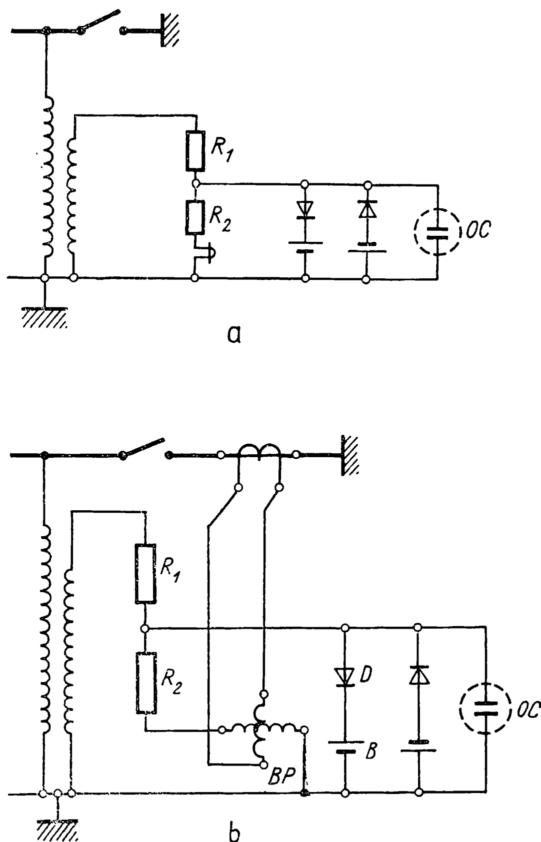


Fig. 7.15. Schema de înregistrare a căderii de tensiune (*a*) și puterii dezvoltate în arcul electric (*b*).

inductive. Traductoarele rezistive au dezavantajul neliniarității indicațiilor și al fenomenului histerezis, care are loc la creșterea și scăderea presiunii.

Traductoarele capacitive necesită amplificatoare speciale și în consecință au o precizie de măsurare insuficientă, mai ales dacă se ține cont de perturbațiile care pot avea loc datorită cîmpului magnetic perturbator.

Rezultatele optime pînă în prezent s-au obținut cu traductoare inductive care funcționează în schemă diferențială (în punte) ca cea din fig. 7.16.

Puntea este alimentată la o frecvenţă ridicată (de exemplu 5 kHz). Curentul de dezechilibrare este redresat, filtrat şi apoi înregistrat cu ajutorul unui oscilograf magnetoelectric.

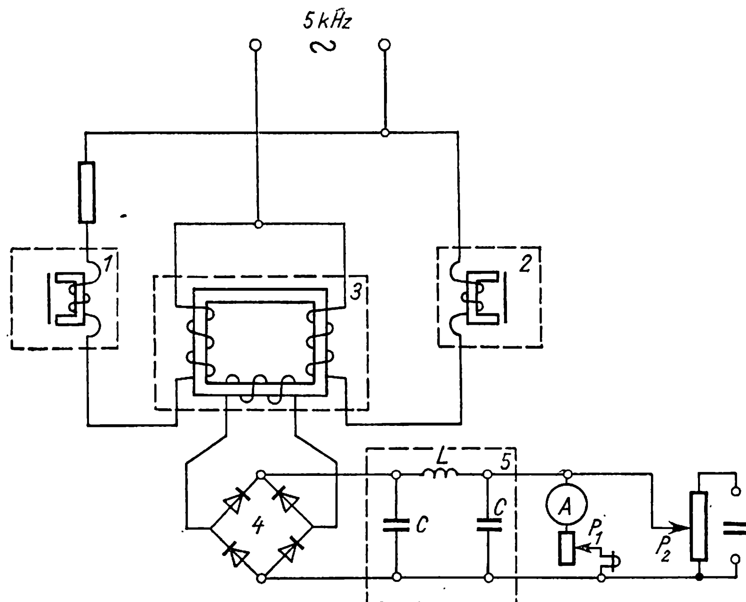


Fig. 7.16. Schema de înregistrare a presiunii rapid variabile în dispozitivul de stingere a arcului electric:

1 — traductor inductiv de măsură cu membrană elastică; *2* — idem de echilibrare; *3* — transformator de amplificare a semnalului de dezechilibru; *4* — punte redresoare a semnalului de dezechilibru; *5* — filtru; P_1 — potenţiometru de reglaj a sensibilităţii buclei; P_2 — potenţiometru de reglaj a liniei zero.

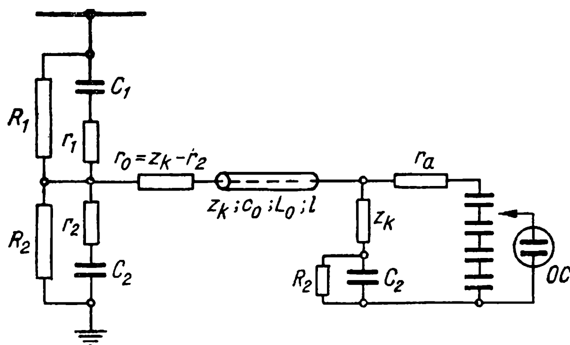


Fig. 7.17. Schema de înregistrare a tensiunilor tranzistorii care apar la încercarea capacităţii de comutaţie a aparatelor:

$R_1/R_2 = r_1/r_2 = C_2/C_1$;
$r_0 = Z_k - r_2$; $R_2 \gg r_2$
$C_1 + C_2/C_0 = 50 \ldots 100$.

III

Încercări specifice ale aparatelor de înaltă tensiune

8. Aparate de comutație de înaltă tensiune

Nomenclatura încercărilor specifice pentru aparatajul de comutație din care fac parte: întreruptoarele, contactoarele și separatoarele de sarcină, s-a stabilit pornind de la verificarea capacității de comutație a dispozitivelor de stingere a arcului electric în diferite condiții de funcționare, așa cum se prezintă în partea a II-a a lucrării.

În acest capitol se vor descrie încercările care se execută în laboratoarele de mare putere din fabricile constructoare și în condițiile sistemului electroenergetic, precizate de obicei în norme și standarde (Anexa 1 și 3), care, pe parcurs, sînt îmbunătățite și completate în concordanță cu evoluția tehnicii. În continuare, se vor prezenta în primul rînd încercările pentru întreruptoare.

8.1. Verificarea rezistenței la uzură mecanică (anduranță mecanică)

Aparatul trebuie să fie complet montat pe propriul soclu sau pe un suport echivalent și, în cadrul probelor de tip, se verifică mai întîi rezistența la uzură mecanică. Această încercare este premergătoare verificării capacității de comutație, pentru a dovedi funcționarea ireproșabilă a mecanismului de acționare și, în general, comportarea în regim dinamic a aparatului, inclusiv, a echipamentului auxiliar.

Dispozitivul său de comandă trebuie acționat în condițiile precizate în specificația tehnică sau instrucțiunile de exploatare. Acționarea se va face, în mod adecvat construcției dispozitivului, cu ajutorul mecanismelor cu comandă electrică, pneumatică sau oleopneumatică, care trebuie să fie alimentate la tensiunea respectiv presiunea minimă, așa cum se prevede în norme sau documentația sa tehnică.

Tensiunea de alimentare a bobinelor dispozitivului de acționare trebuie măsurată la borne în momentul cînd ele sînt parcurse de valoarea maximă

a curentului. Nu se admite conectare de impedanțe între sursa de alimentare și bornele bobinelor dispozitivului, pentru reglarea tensiunii.

Încercarea pentru verificarea rezistenței la uzură mecanică necesită, de exemplu, executarea a cel puțin 1000 manevre complete la întreruptoare care funcționează în gol (fără a avea tensiune la bornele aparatului).

În timpul încercărilor mecanice este permisă executarea operațiilor de gresare a mecanismului, conform instrucțiunilor elaborate de constructor, fiind, de obicei, interzisă reglarea mecanică, operație executată anterior probei.

Folosind metode și dispozitive adecvate [84, 85 și 86], se determină carecteristicile cinematice cum ar fi: viteza și accelerația contactului mobil și timpii proprii de acționare, la închidere și deschidere, parametrii care influențează considerabil capacitatea de comutație. Este indicat ca aceste caracteristici să fie determinate atît la începutul cît și la sfîrșitul probei de verificare a rezistenței la uzură mecanică.

După executarea acestei încercări toate piesele mecanice, inclusiv contactele trebuie să fie în bună stare de funcționare. Eventualele deformații remanente care pot apărea nu trebuie să afecteze buna funcționare a aparatului și nici înlocuirea unora din piesele uzate cu altele noi. Caracteristicile cinematice determinate la sfîrșit nu trebuie să prezinte abateri esențiale față de cele determinate la începutul probei.

8.2. Pregătirea aparatului și indicații generale pentru executarea probei de verificare a capacității de închidere și de deschidere

8.2.1. Pregătirea aparatului pentru probe

Oricărui aparat prezentat la proba de verificare a capacității de comutație, trebuie mai întîi să i se verifice funcționarea corectă în gol, acționat în condiții specificate în STAS 3686, înregistrîndu-se vitezele la închidere și deschidere, durata de închidere și deschidere și în mod deosebit momentul atingerii, respectiv separării contactelor.

Pentru acționarea dispozitivului de comandă se pot face unele precizări [43], care trebuie corelate cu cele din specificația tehnică, în scopul cunoașterii funcționării dinamice în diferite regimuri care pot apărea în exploatare.

De exemplu, în cazul întreruptoarelor cu comandă electrică, bobina de închidere trebuie să fie alimentată atît la 85% cît și la 110% din tensiunea nominală, stabilind în acest fel regimul cel mai defavorabil din exploatare pentru probe și aparatul respectiv.

În cazul dispozitivelor de acționare cu aer comprimat sau oleopneumatice încercările trebuie făcute la presiunea minimă, de 85% din presiunea nominală, declanșatorul de tensiune fiind alimentat, de asemenea la 85% din valoarea nominală a tensiunii, apoi la presiunea, respectiv tensiunea

nominală și în final la 105% din presiunea — respectiv 110% din tensiunea nominală de alimentare.

În cazul aparatelor cu dispozitive de acționare cu arc, încercările trebuie făcute prin alimentarea bobinei de declanșare la 85% și la 110% din tensiunea nominală.

Dacă un aparat este destinat să funcționeaze cu mai multe dispozitive de acționare, în diferite variante constructive, va fi încercat în scurtcircuit cu fiecare dispozitiv numai în cazul cînd de la un dispozitiv la altul se modifică caracteristicile cinematice și dinamice ale aparatului (de exemplu, a întreruptorului), care trebuie verificate în prealabil.

Întreruptoarele cu suflaj asigurat de un gaz sub presiune trebuie să fie încercate la presiunea minimă indicată de constructor, în cazul că nu se precizează altă valoare.

Pentru un întreruptor trifazat, toate exigențele referitor la închidere și deschidere pe scurtcircuit, în principiu, trebuie verificate pe un ansamblu trifazat ai cărui poli funcționează concomitent. Apar două cazuri, și anume: unități trifazate montate pe un soclu unic și care de regulă trebuie încercate ca o unitate completă și unități trifazate constituite din poli separați, care pot fi încercate în trifazat sau monofazat.

Din cauza particularităților constructive, aparatele prevăzute cu declanșator la curentul de închidere nu pot fi supuse întocmai acelorași verificări de funcționare în gol.

8.2.2 Metode de încercare a capacității de comutație

În laboratoarele și stațiile de încercare se practică metodele CEI enumerate în cele ce urmează:

— încercarea în scheme directe;
— încercarea prin metode indirecte;
— încercarea în scheme sintetice.

Încercarea în scheme directe. Aparatul pentru această încercare se prezintă complet montat și verificat.

Curentul și tensiunea, respectiv puterea de scurtcircuit la încercarea în schemă directă se obține de la o singură sursă de energie care, de obicei, este un generator în scurtcircuit de construcție specială sau rețeaua, așa cum se arată la subcap. 8.11. În asemenea schemă, cu un singur circuit se reproduc în modul cel mai fidel condițiile de funcționare din exploatare.

Încercarea prin metode indirecte. Încercarea aparatului, într-o asemenea schemă, se reduce fie la *încercarea unui singur pol* complet montat, fie la *încercarea unui singur element de rupere* de la un pol complet montat. Încercarea pe elemente separate este posibilă desigur numai la întreruptoarele sau separatoarele de sarcină executate constructiv, pentru diferite tensiuni, din camere de rupere (elemente) identice înseriate cum ar fi de exemplu: la 110 kV două elemente, la 220 kV patru elemente, iar la 400 kV șase elemente.

Încercarea unui singur pol (fază). Întreruptoarele tripolare se încearcă, de obicei, ca unități trifazate complete. În cazul cînd cei trei poli constituie

unități separate și identice, se admite încercarea unui singur pol cu respectarea condițiilor echivalente unui întreruptor tripolar și anume:

— asigurarea vitezelor de închidere și deschidere;

— asigurarea mediului de stingere;

— rigiditatea mecanică a structurii de ansamblu, puterea și robustețea mecanismului de acționare să fie aceeași;

— tensiunea aplicată să fie egală cu $kU/\sqrt{3}$, unde U este tensiunea de linie, iar coeficientul k are valoarea 1,3, respectiv 1,5, după cum rețeaua în care va funcționa întreruptorul are neutrul legat efectiv sau neefectiv la pămînt.

Încercarea pe elemente separate. Unele întreruptoare de înaltă tensiune sînt realizate constructiv prin montarea în serie a mai multor elemente de rupere identice, repartiția tensiunii pe aceste elemente fiind asigurată prin impedanțe conectate în paralel.

Acest tip constructiv permite verificarea capacității de comutație pe unul sau un număr redus de elemente de rupere, respectînd următoarele condiții:

— întreruptorul pentru tensiunea nominală să fie realizat din elemente identice ca formă, dimensiuni, condiții și parametrii de funcționare;

— să se asigure simultaneitatea închiderii și deschiderii contactelor, la o abatere de maximum un sfert de perioadă din frecvența nominală;

— alimentarea fiecărui element cu mediul de stingere, în cazul întreruptoarelor cu agent de stingere extern, să se facă practic independent de alimentarea celorlalte elemente, racordul pentru fiecare asigurînd practic alimentarea simultană și identică;

— prin construcția întreruptorului și a elementelor de rupere trebuie să se evite la închidere și rupere influențe reciproce asupra mediului de stingere, cum ar fi de exemplu temperatura, presiunea și viteza de scurgere etc. (deci nici condițiile de alimentare, nici cele de eșapare a mediului de stingere nu trebuie să se modifice datorită absenței arcului în celelalte elemente de rupere înseriate și neîncercate);

— să se asigure o repartiție practic uniformă a tensiunii pe elementele înseriate; în acest scop se utilizează rezistențe sau condensatoare, fiind singurele subansamble care pot să difere de la un element la altul; repartiția tensiunii pe elemente depinde în primul rînd de influența capacităților parțiale față de masă și trebuie calculată, respectiv determinată experimental, pentru condițiile circuitului de încercare folosit; dacă întreruptorul este echipat cu rezistențe în paralel, repartiția tensiunii va fi calculată, respectiv măsurată, static la o frecvență echivalentă celei care apare la tensiunea tranzitorie de restabilire, iar în cazul asigurării repartiției numai prin condensatoare, ea poate fi calculată sau măsurată la frecvența industrială;

— în cazul încercării unui singur element, tensiunea de încercare se va stabili pe baza tensiunii elementului celui mai solicitat, determinată așa cum s-a arătat mai sus pe un pol complet montat;

— în cazul încercării unui grup de elemente, tensiunea care apare la elementul cel mai solicitat din grup trebuie să corespundă cu tensiunea determinată pe elementul cel mai solicitat din polul întreg.

Datorită puterilor limitate ale laboratoarelor, se mai practică și alte metode indirecte de încercare, nestandardizate, folosite îndeosebi în activitatea de elaborare și punere la punct de noi construcții de aparate. De exemplu, se execută verificarea puterii de rupere prin două încercări, asigurînd odată tensiunea nominală de restabilire și o valoare redusă a curentului, iar la a doua încercare o tensiune de valoare redusă și curentul nominal de rupere. Asemenea încercări indirecte furnizează date informative asupra posibilităților de rupere ale aparatelor, dar nu constituie o bază pentru atestarea puterii de rupere garantate.

Încercarea în scheme sintetice. Noțiunea de putere de rupere a unui întreruptor rezultă din simplul produs dintre curentul de scurtcircuit întrerupt și tensiunea care se restabilește la borne

$$P_1 = UI \quad \text{sau} \quad P_3 = \sqrt{3}UI.$$

De remarcat însă că cele două mărimi nu apar simultan, așa cum rezultă din fig. 8.1 și fig. 8.42, și se succed într-o înlănțuire fenomenologică foarte strînsă și bine determinată din punct de vedere fizic.

Astfel, a apărut ideea asigurării celor două mărimi prin alimentarea de la două surse diferite, care, aplicate succesiv într-un mod bine sincronizat, conduc la solicitări echivalente celor care apar într-o schemă directă de încercare, respectiv în exploatare. Conform acestei metode, întreg curentul de scurtcircuit sau cea mai mare parte a sa se obține dintr-o sursă (circuitul de curent de frecvență industrială), iar întreaga tensiune sau cea mai mare parte a sa se obține dintr-una sau mai multe surse separate (circuitul de tensiune).

Tensiunea sursei de curent la frecvență industrială reprezintă o fracțiune din tensiunea circuitului de tensiune, astfel încît să se asigure atît valoarea cît și forma curentului de scurtcircuit. Aceste scheme de încercare denumite sintetice au constituit și constituie obiectul multor cercetări și

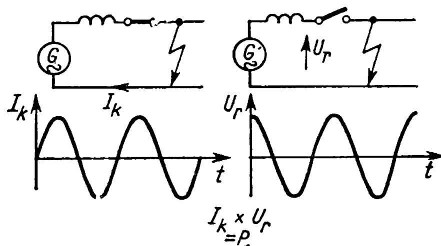


Fig. 8.1. Întreruperea unui curent alternativ.

publicații [78 ... 83] și de asemenea obiectul multor brevete. Experiența de pînă acum a permis elaborarea unei publicații CEI care sintetizează problemele esențiale ridicate de folosirea schemelor sintetice la încercarea întreruptoarelor.

8.2.3. Comportarea aparatului în timpul probelor

În timpul încercărilor de închidere și rupere, aparatul de comutație nu trebuie să prezinte semne care dovedesc incapacitatea lui de a funcționa corect și anume: prelungirea arcului în camere de stingere, reamorsări și reaprinderi ale arcului, deplasarea sau deteriorarea camerei de stingere și a suportului său, sudarea sau deteriorarea contactelor, diverse alte deteriorări mecanice care pot pune în pericol instalația de comandă și operatorul etc.

La întreruptoarele cu ulei, nu trebuie să apară emisii exterioare de flăcări, iar gazele produse și uleiul antrenat de ele trebuie să fie dirijate spre exteriorul aparatului într-o direcție opusă tuturor pieselor metalice aflate sub tensiune, evitînd totodată locurile unde se pot afla persoane.

Pentru alte tipuri de aparate, la care fenomenul de rupere este însoțit în mod normal de o emisie apreciabilă de flăcări sau de particule metalice, se poate accepta ca încercările de scurtcircuit să fie efectuate cu ecrane metalice plasate în vecinătatea părților sub tensiune și la distanțe de siguranță prescrise de constructor. Ecranele se leagă la masă printr-un șunt adecvat măsurării curenților, care eventual se scurg prin acestea la pămînt.

La o funcționare normală, nu trebuie să se înregistreze valori semnificative de curent către șasiul aparatului legat de asemenea la pămînt sau către ecranele cu care este echipat aparatul respectiv. În caz de dubiu, părțile respective se leagă la pămînt printr-un fuzibil constînd dintr-un fir de cupru de 0,1 mm diametru, avînd o lungime de 5 cm. Dacă acest fuzibil rămîne intact după încercări înseamnă că nu s-a produs o trecere semnificativă de curent.

Supratensiunile care apar în timpul încercărilor, îndeosebi la comutația liniilor în gol, a cablurilor în gol, a bateriilor de condensatoare și a curenților mici inductivi, nu trebuie să depășească supratensiunile maxim admisibile. Nu trebuie să se producă conturnări externe.

8.2.4. Starea aparatului după încercări

Examinat după fiecare încercare aparatul de comutație trebuie să prezinte părțile sale mecanice și izolante fără modificări față de situația inițială, fiind totodată în stare normală de funcționare. Astfel, de exemplu, *după o secvență (un ciclu) de încercări la scurtcircuit*, întreruptorul trebuie să fie capabil să închidă și să rupă curentul nominal de serviciu continuu, la tensiunea nominală. Se admite totuși ca posibilitățile sale de închidere și de rupere la scurtcircuit (în regim de avarie) să fie reduse.

Contactele principale trebuie să rămînă în stare de funcționare, suprafața de contact, presiunea și libertatea de mișcare, nefiind sensibil afectate de uzura produsă de arc. Totodată ele trebuie să fie capabile să suporte curentul nominal timp nelimitat, fără ca încălzirea să depășească cu mai mult de 10°C valorile specificate pentru ele în norme (de exemplu tabelul 5 din STAS 3686/1-74). În caz că există dubii se repetă proba de încălzire. Acoperirile contactelor prin argintare se pot considera ca satisfăcătoare numai dacă mai există încă strat de argint pe punctele de contact.

După o serie de încercări la scurtcircuit, trebuie repetate probele de închidere și deschidere în gol, iar rezultatele obținute să fie comparabile cu cele obținute anterior (v. § 8.2.1). Închiderea și zăvorîrea mecanică a întreruptorului trebuie să funcționeze satisfăcător. După o serie completă de cicluri de încercări, pot apărea arsuri locale la dublurile izolante ale cuvelor întreruptoarelor cu ulei. Acestea se pot admite, deoarece asemenea piese nu împiedică aparatul să-și îndeplinească rolul în continuare. Nu sînt admise asemenea arsuri locale la dublurile izolante ale tuburilor barierelor de separare etc., pentru că fac parte integrantă din izolația principală.

Se pot admite numai deformări ușoare ale paravanelor nemetalice de separare a fazelor și dublurilor izolante de la cuvele întreruptoarelor cu ulei, deoarece acestea nu afectează închiderea și deschiderea normală a întreruptorului.

În ceea ce privește degradarea uleiului nu se poate preciza nici un criteriu de deteriorare, deoarece starea lui este dependentă de construcția întreruptorului încercat.

După o serie de încercări diferite de seria de încercări la scurtcircuit, cum ar fi probele de rupere pentru linii în gol, cabluri în gol, baterii de condensatoare sau curenți mici inductivi, întreruptorul trebuie să fie capabil să funcționeze în mod satisfăcător la stabilirea și ruperea tuturor curenților inferiori sau egali cu capacitatea sa nominală de închidere sau rupere la scurtcircuit. În plus, întreruptorul trebuie să suporte curentul nominal timp nelimitat, fără ca încălzirile să depășească valorile maxime prevăzute în norme.

Părțile izolante nu trebuie să prezinte semne evidente de străpungeri, conturnare sau efluvii, admițîndu-se numai o uzură moderată a pieselor camerei de stingere expuse direct la acțiunea arcului electric.

8.2.5. Revizia după o secvență de încercări la scurtcircuit și alte serii de încercări

Se admite și se prevede, ca o necesitate în instrucțiunile de exploatare, ca după o serie de secvențe (cicluri) de manevre sau unei serii de încercări să se execute revizia întreruptorului, în vederea aducerii sale în starea inițială. De exemplu se recomandă și se admit totodată următoarele operații:

— repararea sau schimbarea contactelor sau altor piese specificate de constructor;

— filtrarea sau schimbarea uleiului sau a altor lichide folosite ca mediu de stingere, respectiv completarea pînă la restabilirea nivelului normal;

— curățirea izolației interne pentru înlăturarea depunerilor prin descompunerea mediului de stingere.

Asemenea operații caracterizează nu numai revizia după probele din laborator, ci și reviziile după funcționarea în exploatare executate în atelierele de întreținere sau la fața locului, a căror periodicitate trebuie stabilită după instrucțiunile de exploatare.

8.3. Secvențele (ciclurile) de bază pentru încercarea la scurtcircuit a întreruptoarelor

Secvențele de bază pentru încercarea unui întreruptor la scurtcircuit, după ultima ediție a recomandărilor CEI și a standardului românesc STAS 3686/5-74, sînt în număr de cinci.

Secvența de încercări nr. 1 se compune din ciclul nominal de manevre (D-t-ID-t'-ID sau ID-t''-ID), limitat numai la manevre de deschidere, la 10% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit, cu o componentă aperiodică de cel mult 20% și o tensiune tranzitorie de restabilire și de frecvență industrială specificate la §§ 8.4.5 ... 8.4.7.

Secvența de încercări nr. 2, identică cu prima, însă pentru 30% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit, iar tensiunea tranzitorie de restabilire, și de frecvență industrială, specificate la §§ 8.4.5 ... 8.4.7.

Secvența de încercări nr. 3 identică cu prima, însă pentru 60% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit, iar tensiunea tranzitorie de restabilire și frecvența industrială, specificate la §§ 8.4.5 ... 8.4.7.

Secvența de încercări nr. 4 se compune din ciclul nominal de manevre la 100% din capacitatea de închidere, respectiv capacitatea de rupere la scurtcircuit, curentul de scurtcircuit fiind definit conform prevederilor de la §§ 8.4.2 ... 8.4.4, iar tensiunea aplicată, respectiv tensiunea tranzitorie de restabilire fiind reglată conform § 8.4.1 respectiv §§ 8.4.5 ... 8.4.7.

La acest ciclu componenta aperiodică nu trebuie să depășească 20% din componenta alternativă.

Dacă în documentația tehnică specifică fiecărui tip de aparat nu se prevăd alte valori pentru intervalele de timp dintre două operații succesive se adoptă următoarele valori:

$t = 3$ min, pentru întreruptoare care nu sînt destinate funcționării în regim de reanclanșare automată rapidă (RAR) sau $t = 0{,}3$ s pentru întreruptoare destinate funcționării în regim RAR.

$t' = 3$ min.

$t'' = 15$ s, pentru întreruptoarele care nu sînt destinate funcționării în regim RAR.

Puterea stațiilor de rupere însă nu întotdeauna permite respectarea întocmai a acestor condiții și de aceea în multe cazuri se adoptă cicluri de încercare simplificate cum ar fi:

Secvența de încercări nr. 4a, destinată verificării capacității de închidere: I-t'-I respectiv I-t''-I, la 100% din capacitatea de închidere nominală la scurtcircuit.

Secvența de încercări nr. 4b, destinată verificării capacității de rupere: D-t-D-t'-D, respectiv D-t''-D, la 100% din capacitatea de rupere la scurtcircuit.

Între secvențele *4a* și *4b* se admite revizia întreruptorului. Din aceleași cauze ca cele prezentate mai sus se merge mai departe cu simplificarea secvenței de încercare.

De exemplu, la întreruptoare cu o durată minimă de deschidere mai mică de 80 ms se admit în condiții bine precizate în norme [43, 45] numai încercări de deschidere (*Secvența de încercări nr. 5*) la 100% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit. În cazul unui întreruptor însă, care nu poate să atingă poziția finală de închidere, neexecutînd complet cursa în contacte la o închidere pe scurtcircuit, secvența nr. 5 numai de deschidere nu se admite, ci se impune o secvență completă de închidere-deschidere (*ID*). De altfel, ciclul simplu *ID* este foarte mult practicat în laboratoarele de mare putere, mai ales în cadrul activității de dezvoltare a noi tipuri de aparate.

8.4. Determinarea mărimilor caracteristice funcționării și încercării unui aparat de comutație în scurtcircuit

Mărimile și succesiunea lor fenomenologică, ce caracterizează apariția și eliminarea unui scurtcircuit într-o rețea electrică alimentată de la o sursă puternică, rezultă din desfășurarea simplificată prezentată în fig. 8.2. și anume:

— tensiunea aplicată rețelei înaintea apariției scurtcircuitului;

— curentul de scurtcircuit cu două valori importante: valoarea de vîrf a curentului stabilit și valoarea curentului întrerupt;

— căderea de tensiune în arc și energia arcului pe perioada scurtcircuitului;

— tensiunea tranzitorie de restabilire la bornele aparatului, după eliminarea scurtcircuitului, concomitent cu un eventual curent de valoare foarte redusă, numit curent post-arc.

Funcționarea corectă a unui aparat de comutație constă în stabilirea și îndeosebi în eliminarea unui scurtcircuit. Acestei funcționări i se asociază noțiunea de *capacitate de închidere* (valoarea curentului de scurtcircuit stabilit sub o tensiune dată) și *capacitatea de rupere* (valoarea curentului de scurtcircuit întrerupt sub o tensiune dată).

Încercarea unui aparat de comutație se face pornind de la cunoașterea în detaliu a proceselor fizice care apar în exploatare și modul de reproducere a lor cît mai fidelă în laborator. De aceea, în continuare se vor prezenta principalele criterii de reproducere a acestor fenomene la încercările din laborator.

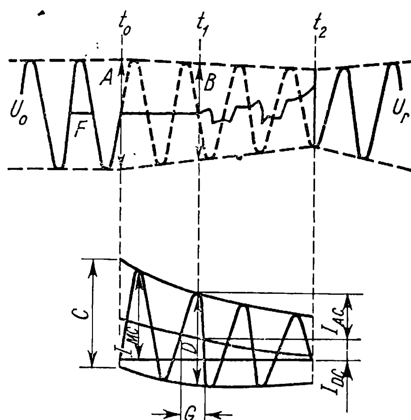


Fig. 8.2. Desfășurarea conectării și întreruperii unui scurtcircuit:

U_0 — tensiunea aplicată rețelei înaintea apariției scurtcircuitului; t_0 — momentul stabilirii scurtcircuitului; t_1 — momentul separării contactelor: t_2 — momentul întreruperii curentului; U_r — tensiunea de restabilire; I_{MC} — curentul de închidere; I_{DC} — componenta aperiodică la momentul t_1; $\frac{I_{AC}}{\sqrt{2}}$ — valoarea efectivă a coponentei periodice a curentului în momentul t_1.

8.4.1. Tensiunea aplicată înaintea încercării în scurtcircuit

Înaintea manevrelor de închidere pe scurtcircuit în secvențele precizate la subcap. 8.3 tensiunea aplicată trebuie să aibă valorile indicate în cele ce urmează:

a. Pentru încercările în trifazat ale unei unități tripolare, valoarea medie a tensiunilor aplicate pe fiecare fază trebuie să fie cel puțin egală cu tensiunea nominală $U_n/\sqrt{3}$ și nu trebuie să depășească această valoare cu mai mult de 10%, fără acordul constructorului. Diferențele între valoarea medie a tensiunii aplicate și tensiunile măsurate pe fiecare pol nu trebuie să depășească 5%.

b. Pentru încercările în monofazat ale unui întreruptor tripolar, tensiunea aplicată trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea tensiunii pe fază $U_n/\sqrt{3}$ multiplicată cu 1,3 sau 1,5 și nu trebuie să depășească cu mai mult de 10% această valoare.

c. Pentru un întreruptor monopolar, tensiunea aplicată trebuie să fie cel puțin egală cu valoarea nominală cu toleranță de asemenea de maximum + 10%.

d. La încercarea pe unul sau mai multe elemente de rupere tensiunea aplicată trebuie stabilită ținînd seama de considerentele prezentate în § 8.2.2 și partea I și a II-a a lucrării.

Reglarea în laborator a tensiunii respective la valoarea dorită se obține atît prin reglarea excitației generatorului, cît și prin folosirea de transformatoare ridicătoare cu posibilități de conectare pe diverse trepte de tensiune

8.4.2. Curentul de scurtcircuit

Scurtcircuitele în rețele de înaltă tensiune apar ca fenomene nedorite și inerente în activitatea de exploatare, ca urmare a deteriorării izolației (străpungeri sau conturnări), a apariției unor corpuri străine între conductoarele izolate sau în urma unor manevre sau conexiuni greșite, constituind ceea ce numim cazuri de avarie în rețea. Cazurile de scurtcircuit se deosebesc în funcție de cauza și condițiile în care s-au produs, cele reprezentative fiind indicate în fig. 8.3.

Calculul curenților de scurtcircuit, care apar în rețelele de înaltă tensiune cu configurații din ce în ce mai complexe, este o problemă relativ dificilă, apelîndu-se în mod frecvent la modelarea sistemului și determinarea curenților de scurtcircuit pe asemenea modele.

Pentru încercarea aparatajului de comutație într-un laborator, șocul de putere, respectiv curentul de scurtcircuit se obțin de la generatoare de construcție specială [12] într-o schemă relativ simplă (fig. 8.4).

Curentul de scurtcircuit asimetric în regim trifazat, la bornele unui generator sincron, raportat la valoarea curentului nominal, este dat de relația

$$\frac{I_k}{I_N} = \frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X'_d} - \frac{1}{X_d}\right) e^{-\frac{1}{T'_d}} + \left(\frac{1}{X''_d} - \frac{1}{X'_d}\right) e^{-\frac{1}{T''_d}} + \frac{1}{X''_d} \cos\varphi\, e^{-\frac{1}{T_a}} \cdot \qquad (8.1)$$

Amortizarea curentului de scurtcircuit depinde de tipul mașinii cu poli înecați sau cu poli aparenți), de parametrii realizați (reactanțe și constante de timp), precum și de tratarea circuitului de excitație (cu sau fără excitație de șoc).

Curbele din fig. 8.5 ilustrează amortizarea curentului de scurtcircuit pentru anumite tipuri de generatoare [85 și 86].

Dacă se introduce o reactanță (de exemplu prin transformatorul ridicător fig. 8.6, *b*), la un scurtcircuit bifazat des întîlnit la încercări în laborator, amortizarea curentului de scurtcircuit este mai mică (fig. 8.6, *a*).

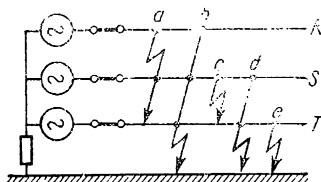


Fig. 8.3. Scurtcircuite în rețelele de înaltă tensiune:

a — scurtcircuit trifazat fără punere la pămînt; *b* — scurtcircuit trifazat cu punere la pămînt; *c* — scurtcircuit bifazat fără punere la pămînt; *d* — scurtcircuit bifazat cu punere la pămînt; *e* — scurtcircuit monofazat cu punere la pămînt.

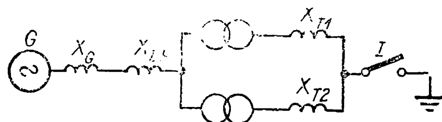


Fig. 8.4. Circuitul principal de curent într-un laborator de mare putere:

G — generatorul de scurtcircuit; X_G — reactanța generatorului de scurtcircuit; X_{Lk} — reactanța barelor de medie respectiv înaltă tensiune și reactanța reactoarelor de reglaj; $X_{T\,1,2}$ — reactanța transformatoarelor ridicătoare de scurtcircuit; *I* — întreruptorul încercat.

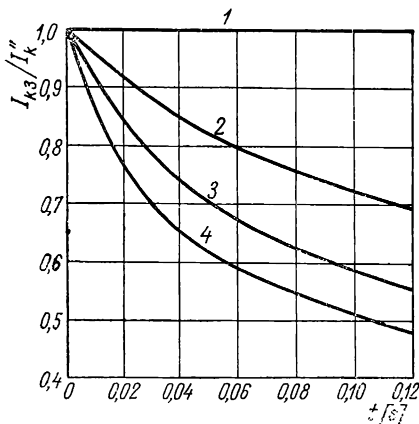
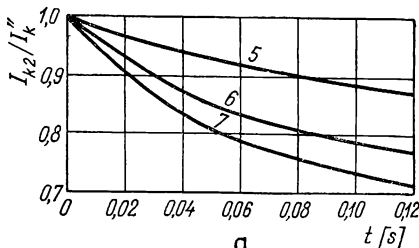


Fig. 8.5. Curbele de variație a curentului pentru scurtcircuit trifazat la bornele unor generatoare de scurtcircuit:

1 — generator cu 8 poli aparenți; P_N = 300 MVA cu excitație de șoc; *2* — generator cu 8 poli aparenți; P_N = 300 MVA fără excitație de șoc; *3* — generator tip turbo; P_N = 64 MVA fără excitație de șoc; *4* — generator tip turbo; P_N = 20 MVA fără excitație de șoc.



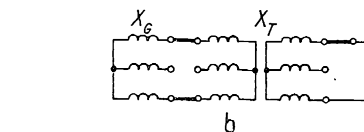


Fig. 8.6. Curbele de variație a curentului la un scurtcircuit bifazat (*a*) pentru raportul X_T/X_G = 1/3 (*b*) fără excitație de șoc:

5 — generator cu 8 poli aparenți; P_N = 300 MVA; *6* — generator tip turbo; P_N = 64 MVA; *7* — generator tip turbo; P_N = 20 MVA.

În tabelul 8.1 sînt prezentate relațiile de calcul pentru curenții de scurtcircuit la un generator pentru diferite cazuri cu și fără reactanță exterioară (X).

Tabelul 8.1

I	I_d	I'_k	I''_k
I_{k3}	$\frac{U_0}{X_d}$	$\frac{U_0}{X'_d}$	$\frac{U_0}{X''_d}$
I_{k2}	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X_d + X_2}$	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X'_d + X_2}$	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X''_d + X_2}$
I_{k1}	$\frac{3U_0}{X_d + X_2 + X_0}$	$\frac{3U_0}{X'_d + X_2 + X_0}$	$\frac{3U_0}{X''_d + X_2 + X_0}$
I_3 X	$\frac{U_0}{X_d + X}$	$\frac{U_0}{X'_d + X}$	$\frac{U_0}{X''_d + X}$
I_2 X	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X_d + X_2 + 2X}$	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X'_d + X_2 + 2X}$	$\frac{\sqrt{3}\,U_0}{X''_d + X_2 + 2X}$
I_1 X	$\frac{3U_0}{X_d + X_2 + X_0 + 3X}$	$\frac{3U_0}{X_d + X_2 + X_0 + 3X}$	$\frac{3U_0}{X''_d + X_2 + X_0 + 3X}$

Notă. Semnificația simbolurilor utilizate în tabel este următoarea:

X_d, X'_d, X''_d — reactanțele longitudinale sincronă, tranzitorie și supratranzitorie;
X_0 — reactanța de succesiune homopolară;
X_2 — reactanța de succesiune inversă;
U_0 — tensiunea pe fază.

Pentru a încerca în condiții comparabile diverse aparate, valoarea în procente a componentei aperiodice a curentului de scurtcircuit se precizează prin norme (fig. 8.7).

Timpul τ este precizat de proiectant în mod diferențiat în funcție de construcția întreruptorului. Pentru un întreruptor care poate fi declanșat de un curent de scurtcircuit fără ajutorul unei forme oarecare de energie auxiliară, valoarea relativă în procente a componentei aperiodice trebuie să corespundă la un interval de timp egal cu durata minimă de deschidere a întreruptorului. La întreruptoarele care necesită la declanșare energia auxiliară sub o anumită formă, timpul τ corespunde cu intervalul de timp egal cu durata minimă de deschidere la care se adaugă o semiperioadă din frecvența nominală (0,01 s).

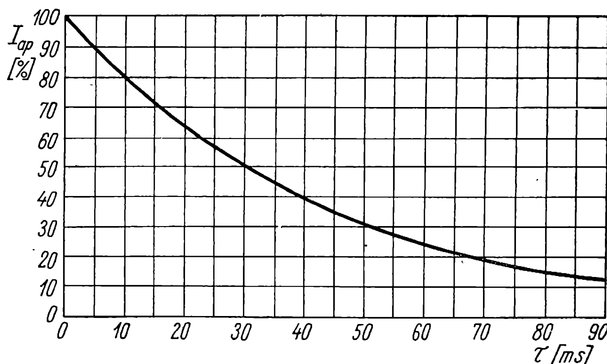


Fig. 8.7. Variația componentei aperiodice în funcție de timpul τ.

8.4.3. Valoarea de vîrf a curentului stabilit la scurtcircuit

Pentru obținerea unei componente aperiodice maxime la închidere, deci o valoare de vîrf mare, conectarea trebuie făcută practic la trecerea prin zero a tensiunii. Această manevră se realizează printr-o comandă sincronă cu programare automată. Ținînd seama de faptul că timpul propriu, respectiv dispersia, la închiderea unui întreruptor este mare față de performanțele unui scurtcircuitor sincron dintr-un laborator, cu toată calibrarea prealabilă a instalației de comandă, închiderea pe scurtcircuit a întreruptorului încercat se face cu abateri mari. În consecință obținerea valorii de 100 % a capacității de închidere este puțin probabilă.

Această valoare este redusă însă și de posibilitatea apariției unui arc de preamorsare în procesul de închidere, fenomen dependent de construcția întreruptorului și mediul de stingere, care poate fi însoțit de solicitări severe.

Se mai recomandă măsurarea valorii de vîrf a curentului prezumat (stabilit în circuitul de încercare, cu întreruptorul șuntat) manevra de închidere executîndu-se cu scurtcircuitorul sincron al laboratorului. În acest caz valoarea măsurată trebuie să fie cuprinsă între 100% și 110% din capacitatea de conectare nominală. Desigur această măsurare atestă valoarea curentului, nu și aptitudinea întreruptorului de a conecta pe scurtcircuit.

8.4.4. Curentul de scurtcircuit întrerupt

Pentru o tensiunne dată, curentul de scurtcircuit întrerupt constituie principala mărime care asociază unui întreruptor atributul de putere de rupere, respectiv capacitatea de rupere la scurtcircuit. Capacitatea de rupere se exprimă prin două valori ale curentului de rupere, măsurate în momentul separării contactelor (fig. 8.2) și anume: valoarea efectivă a componentei sale

periodice ($I_{AC}/\sqrt{2}$) și valoarea relativă în procente a componentei aperiodice ($I_{DC} \times 100/I_{AC}$).

Un întreruptor trebuie verificat asupra posibilităților de a întrerupe orice valoare a curentului de scurtcircuit, care nu depășește valorile nominale ale componentei periodice și aperiodice specificate. În consecință, verificarea se face în mai multe trepte și anume, curent critic, 10%, 30% 60% și 100%, din capacitatea de rupere nominală.

În cazul unităților tripolare încercate în trifazat, se determină din măsurări media valorilor efective a componentelor periodice pentru toți polii și valoarea momentană cea mai mare a componentei aperiodice a curentului obținut la oricare dintre poli. Diferențe între media valorilor efective a componentelor periodice și valorile măsurate pe fiecare pol nu trebuie să depășească 10% din valoarea medie.

Momentul separării contactelor se determină experimental folosind traductoare de cursă montate în prealabil pe întreruptor, descrise în cap. 6.

8.4.5. Tensiunea tranzitorie de restabilire (TTR și TTRI)

La trecerea prin zero a curentului odată cu întreruperea lui și stingerea arcului electric în camera de stingere, într-un mod bine determinat se dezvoltă două fenomene opuse ca efect și anume, refacerea rigidității dielectrice și restabilirea tensiunii la bornele întreruptorului, respectiv a elementului de rupere încercat.

Modul cum se dezvoltă cele două fenomene determină stingerea arcului, deci funcționarea corectă a dispozitivului de rupere, sau reaprinderea respectiv reamorsarea arcului electric, care înseamnă restabilirea curentului de scurtcircuit și deci eșuarea operației de întrerupere.

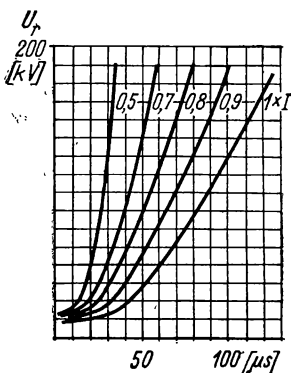


Fig. 8.8. Curbele regenerării dielectrice pentru diferiți curenți în camera unui întreruptor cu aer comprimat

Regenerarea dielectricului în camera de stingere are loc după anumite curbe, care depind atît de mediul și dispozitivul de stingere folosit, cît și de valoarea curentului întrerupt, respectiv energia arcului care trebuie stins (fig. 8.8).

Panta de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire (TTR) depinde de parametrii circuitului întrerupt, și de caracteristicile întreruptorului (de căderea de tensiune în arc, de conductivitatea post-arc și eventuala prezență a rezistențelor din circuitul de rupere).

Pentru fiecare moment, raportul reciproc dintre cele două curbe, de refacere a rigidității dielectrice în camera de stingere și de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire, decide funcționarea sigură sau nefuncționarea aparatului. De aceea, atît la curenți mai mici, cît și la curenți mai mari curba, respectiv

panta de restabilire a tensiunii, trebuie să se găsească sub curba, respectiv panta de refacere a rigidității dielectrice (fig. 8.9, *a* și *b*).

Viteza de creștere a TTR depinde atît de amplitudinea oscilațiilor de înaltă frecvență și a fundamentalei, cît și de frecvența acestor oscilații. Este posibil ca cele două curbe să se intersecteze la TTR de amplitudine mai mică, dar cu freventă mai mare (fig. 8.10).

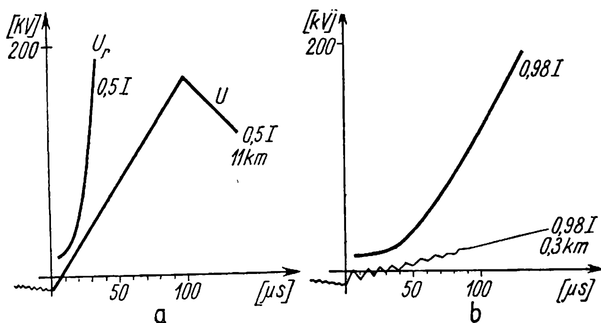


Fig. 8.9. Curbele regenerării dielectrice și a tensiunii tranzitorii nu se intersectează nici la 50% (*a*) nici la 98% (*b*) din capacitatea nominală de rupere.

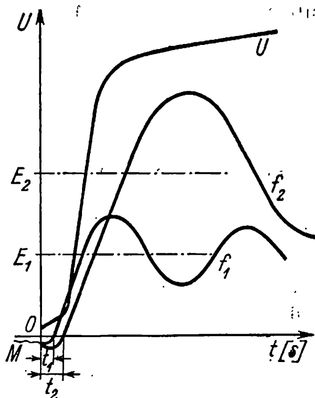


Fig. 8.10. Raportul dintre curba de regenerare (u_r) și curbele de restabilire a tensiunii de valoare mai mică (E_1) dar de frecvență mai ridicată (f_1) și de valoare mai ridicată (E_2) dar frecvență mai mică (f_2).

Din aceste considerente, tensiunea tranzitorie de restabilire care trebuie asigurată la probele din laborator este necesar să aibă o curbă de variație cu parametrii echivalenți celor determinați în exploatare. Definirea acestei tensiuni constituie un capitol important în norme și standarde și vom insista asupra precizării în cele ce urmează.

8.4.6. Tensiunea tranzitorie de restabilire în cazul s rtci tuui la borne

O undă a TTR poate să aibă o formă oscilantă, aperiodică sau o combinație a acestora.

După cum se știe, aceste curbe sînt definite prin valoarea de vîrf (sau factorul de vîrf, respectiv factorul de amplitudine) și frecvența oscilațiilor din care rezultă și viteza de creștere în primele momente a TTR.

De exemplu, cînd deconectarea are loc în momentul trecerii naturale prin zero și în cazul unei componente tranzitorii oscilatoare cu o singură frecvență ($\omega_0 \gg \omega$), este satisfăcută în mod convențional ecuația

$$e = E_m(1 - e^{-\alpha t} \cos \omega_0 t), \tag{8.2}$$

în care: e este valoarea instantanee a tensiunii;

E_m — valoarea de vîrf a TTR la bornele polului considerat;

ω_0, ω — pulsația proprie a circuitului, respectiv a tensiunii sursei de frecvența industrială;

α — coeficientul de amortizare

Pentru cazuri simple, cum ar fi TTR avînd o componentă oscilatorie cu o singură frecvență proprie (fig. 8.11) determinarea parametrilor se face astfel:

— factorul de vîrf $= \frac{e_m}{E_m}$;

—viteza de creștere a TTR $= \frac{e_m}{t_m}$ [V/μs];

— frecvența de oscilație $= \frac{10^3}{2t_m}$ [kHz],

unde t_m este momentul atingerii valorii de vîrf.

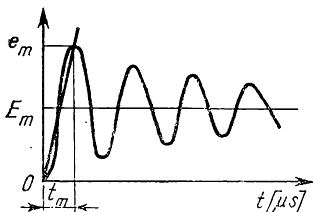


Fig. 8.11. Determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire cu o singură frecvență: e_m — valoarea de vîrf a TTR; t_m — timpul în μs, din origine pînă în momentul trecerii prin valoarea de vîrf a TTR; E_m — valoarea de vîrf a TTR de frecvență industrială.

Definirea parametrilor e_m și t_m, în cazul cînd TTR comportă oscilații cu mai multe frecvențe, se complică datorită unui foarte mare număr de forme oscilatorii posibile să apară. În plus, capacitatea din punctul instalării și din partea de alimentare a întreruptorului reduce viteza de creștere a tensiunii în perioada primelor microsecunde ale TTR, ceea ce se poate lua în considerație prin introducerea unei întîrzieri.

Pe aceste considerente literatura de specialitate din ultima perioadă și normele recente, definesc TTR cu ajutorul unei înfășurători constituită din trei segmente de dreaptă consecutive determinate la rîndul lor prin patru parametrii (fig. 8.12) care reflectă forma reală a TTR în marea majoritate a cazurilor practice, cu o aproximație suficientă.

În cazul unei unde corespunzînd unei oscilații amortizate cu o singură frecvență, înfășurătoarea se reduce la două segmente de dreaptă consecutive definite prin doi parametrii (fig. 8.13).

Bazîndu-se pe aceste ultime definiții tensiunea tranzitorie de restabilire (TTR) pentru scurtcircuite la borne, asociată capacității, respectiv puterii de rupere nominală, este tensiunea de referință care constituie limita TTR prezumată pentru circuitele în care întreruptoarele trebuie să întrerupă în exploatare, un scurtcircuit la borne. Pentru definirea deci atît a TTR nominală, cît și a TTR specificate pentru diferite secvențe de încercare sau prezumate pentru circuitul de încercare, se folosește același mod de reprezentare pentru care se indică în continuare detalii de trasare a înfășurărilor de referință (fig. 8.12 și 8.13).

Primul segment de dreaptă (*OB*) trece prin originea *O* și este tangentă la curbe TTR pe care nu trebuie s-o intersecteze. În cazul cînd partea inițială a curbei prezintă concavitatea la stînga, punctul de tangentă este în vecinătatea primului vîrf (fig. 8.14 și fig. 8.15), iar cînd prezintă concavitate la dreapta se găsește în vecinătatea originii (fig. 8.16).

Al doilea segment de dreaptă (*AC*) este o linie orizontală tangentă într-un punct corespunzînd valorii de vîrf celei mai mari.

Al treilea segment de dreaptă (BA) este tangent la curbă într-unul sau mai multe puncte, situate între primele două puncte de contact şi nu trebuie să intersecteze curba TTR. La trasarea acestui segment se întîlnesc trei cazuri specifice:

— se poate trasa un singur segment (fig. 8.14);

— se pot trasa mai multe segmente care să atingă curba în două sau mai multe puncte, în care caz dreapta corectă trebuie să delimiteze între înfăşurătoare şi curbă suprafeţe aproximativ egale (fig. 8.15);

— se poate trasa un singur segment care poate atinge curba în cel puţin un punct fără s-o intersecteze, în care caz se trasează respectînd principiul egalităţii ariilor definite (fig. 8.16), sau se confundă cu primul segment OB, după cum punctul de intersecţie al primului segment cu al treilea este departe sau aproape de vîrful cel mai mare al TTR.

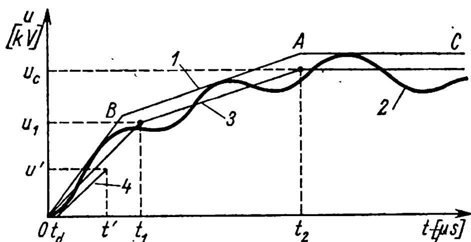


Fig. 8.12. Exemplu de TTR prezumată la încercare, comportînd o înfăşurătoare definită prin patru parametri:

u_1 — prima tensiune de referinţă, în kV; t_1 — timpul pentru atingerea tensiunii u_1, în μs; u_c — a doua tensiune de referinţă (valoarea de vîrf a TTR) în kV; t_2 — timpul pentru atingerea tensiunii u_c în μs; u' — tensiunea specificată pentru întîrziere, în kV; t' — întîrzierea, în μs.
1 — înfăşurătoarea TTR prezumată la încercări; *2* — TTR prezumată la încercări; *3* — înfăşurătoarea de referinţă a TTR specificată; *4* — segmentul de dreaptă definind întîrzierea TTR specificată.

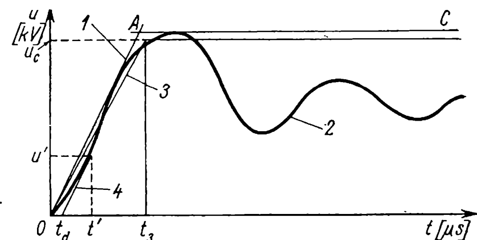


Fig. 8.13. Exemplu de TTR prezumată la încercare cu o înfăşurătoare prin doi parametri:

u_c — tensiunea de referinţă (valoarea de vîrf a TTR), în kV; t_3 — timpul pentru atingerea tensiunii u_c, în μs; u', t_d, t', *1*, *2*, *3* şi *4* au aceeaşi semnificaţie ca în fig. 8.12.

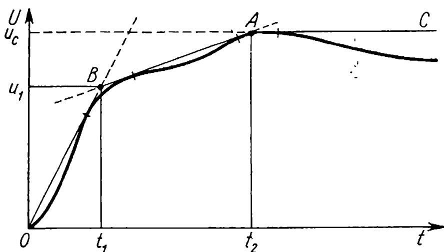


Fig. 8.14. Reprezentarea prin patru parametrii a unei TTR prezumată pentru un circuit.

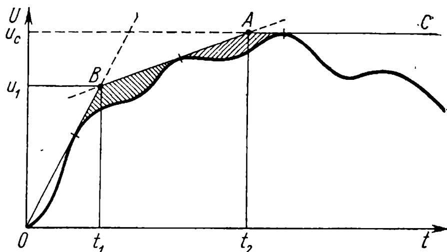


Fig. 8.15. Variantă pentru reprezentarea prin patru parametrii a unei TTR prezumată pentru un circuit.

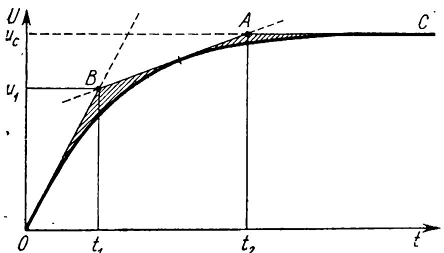


Fig. 8.16. Variantă pentru reprezentarea prin patru parametrii a unei TTR prezumată pentru un circuit.

În baza celor de mai sus TTR nominală este reprezentată printr-un traseu de referință și un segment de dreaptă definind întîrzierea, prin coordonatele parametrilor indicați de obicei în norme.

Valorile indicate în tabele sînt prezumate pentru întreruptoarele destinate să funcționeze în rețelele trifazate de transport și distribuție, funcțio-

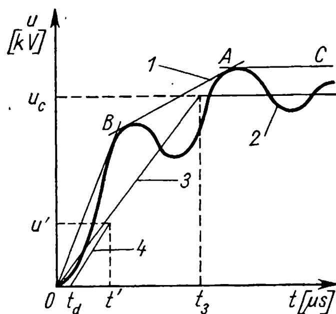


Fig. 8.17. Exemplu de TTR prezumată la încercări printr-o înfășurătoare definită prin patru parametrii, tensiunea specificată comportînd un traseu de referință cu doi parametrii:

1 — înfășurătoarea TTR prezumată; *2* — TTR de încercări prezumată; *3* — traseul (înfășurătoarea) de referință a TTR specificată; *4* — segmentul de dreaptă definind întîrzierea TTR specificată.

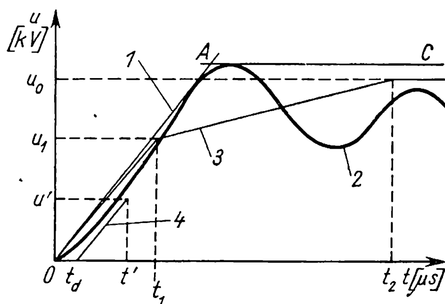


Fig. 8.18. Exemplu de TTR prezumată la încercări printr-o înfășurătoare definită prin doi parametrii, tensiunea specificată comportînd un traseu de referință definit prin patru parametrii.

1, *2*, *3* și *4* au aceeași semnificație ca în fig. 8.17

nînd la frecvențe de 50 și 60 Hz, avînd transformatoare, linii aeriene și cabluri scurte. Desigur, în cazuri deosebite, se pot prevede valori mai severe sau mai ușoare după cum e cazul.

Unda prezumată pentru circuitul de încercare trebuie să îndeplinească două condiții principale (fig. 8.12, fig. 8.13, fig. 8.17 și fig. 8.18):

a) *înfășurătoarea să nu fie niciodată situată sub traseul (înfășurătoarea) de referință specificat*;

b) *partea sa inițială nu trebuie să intersecteze segmentele de dreaptă specificate pentru definirea întîrzierii.*

Pentru TTR care trebuie asigurată la încercarea întreruptoarelor la valori sub 100% din capacitatea de rupere nominală (secvența de încercări *1*, *2* și *3*), se specifică valori diferite de cele nominale.

În secvența de încercare nr. 1 (pentru curenții cu valori relative de 10%) datorită dificultăților de a realiza, în laboratoarele de mare putere, durate t_3 de valori scurte, nu se specifică nici o valoare. În acest caz se vor utiliza cele mai scurte durate obtenabile fără a conecta o capacitate suplimentară în schema de încercare, care ar trebui să fie inferioare valorilor specificate pentru secvența 2, iar valoarea de vîrf a TTR, u_c să fie apropiată de valoarea indicată în tabele pentru secvența 2 de încercări. Se poate de asemenea neglija condiția b) prevăzută mai sus.

La secvenţa de încercare nr. 2, (30%) se utilizează pentru toată gama de tensiuni nominale un traseu de referinţă cu doi parametrii, valorile normalizate fiind prezentate de asemenea în norme.

Şi la acest ciclu de încercări apar dificultăţi de a realiza în laborator valorile mici ale duratei t_3, respectiv vitezele mari de creştere ale TTR, posibilităţile depinzînd de capacitatea proprie a circuitului principal de curent (generator, bare, transformator ridicător).

Atît pentru secvenţa 1, cît şi pentru secvenţa 2, se recomandă folosirea transformatoarelor ridicătoare cu un raport de transformare cît mai ridicat, reuşind astfel o reducere considerabilă a capacităţilor primare în partea secundară. Evident, în acest caz, generatorul este subutilizat (tensiuni mici şi curenţi mari), lucru posibil datorită puterilor mai reduse la care se face încercarea.

La secvenţa (ciclul) de încercare nr. 3 (60%), pentru tensiunile nominale inferioare sau egale cu 145 kV, se utilizează o înfăşurătoare (traseu) de referinţă definită prin doi parametri, iar pentru tensiuni mai mari un traseu definit prin patru parametri.

Pentru secvenţele 3, 4 şi 5 se pot adopta în variantă înfăşurători de referinţă definite prin doi parametri, atunci cînd se utilizează fig. 8.13 în locul fig. 8.18. Variantele de valori normalizate pentru TTR prezumate în acest caz se indică în norme.

Datorită condiţiilor limitate din laboratoarele de încercare, nu întotdeauna se poate respecta condiţia a) şi îndeosebi condiţia b) precizate anterior. În cazul cînd întreruptorul este supus concomitent cu verificarea întreruperii unui scurtcircuit la borne şi la verificarea unui scurtcircuit pe linie (defect kilometric) se admit abateri de la valorile t_d, u' şi t' necesare pentru definirea întîrzierii, recomandate de obicei prin norme sau convenite cu beneficiarul.

Dacă cele două condiţii a) şi b) nu pot fi satisfăcute simultan cu un singur circuit de încercare, se pot executa probe în două etape folosind succesiv două circuite de încercare. Pentru întreruptoare cu tensiuni nominale peste 100 kv se poate proceda în felul următor:

Primul circuit de încercare trebuie să satisfacă condiţia b) şi parţial condiţia a), cu un traseu de referinţă definit prin doi parametri trecînd prin punctul definit de o tensiune egală cu valoarea nominală u_1 şi durata egală cu valoarea nominală t_1.

În al doilea circuit de încercare se neglijează complet condiţia b). În fig. 8.19 sînt prezentate asemenea unde ale TTR prezumată, corespunzînd celor două circuite de încercare realizate.

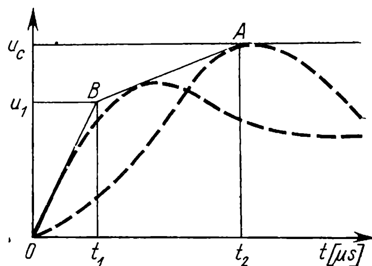


Fig. 8.19. Exemplu de două unde ale TTR prezumată la încercări şi o înfăşurătoare de ansamblu pentru încercarea în două etape.

8.4.7. Determinarea tensiunii tranzitorii de restabilire prezumate (TTRP)

Forma undei TTR depinde de două categorii principale de factori și anume:

a. Factori dependenți de parametrii circuitului de încercare, ca de exemplu: reactanțe, capacități, rezistențe, impedanțe de linie etc.

b. Factori care provin de la caracteristicile întreruptorului, ca de exemplu: tensiunea în arc, conducția post-arc, condensatoare și rezistențe înseriate la rupere etc..

În practica de pînă acum, s-a pus mare accent pe măsurarea TTR la încercarea care se face după schemele prezentate în subcap. 7.3, constituind una din măsurările dificile, dar foarte importante pentru aprecierea comportării întreruptorului, mai ales tensiunea tranzitorie de restabilire inițială (TTRI).

Înregistrarea TTR în timpul probelor de rupere constituie o verificare a caracteristicilor prezumate ale circuitului de încercare, verificare cu atît mai precisă cu cît influența întreruptorului încercat asupra circuitului este neglijabilă, iar componenta aperiodică a circuitului întrerupt este mică. După ultimele recomandări din literatura de specialitate, norme și standarde, se acordă însă atenție deosebită metodelor elaborate pentru determinarea formei undei TTRP, care se datorește numai factorilor dependenți de parametrii circuitului, constituind așa-numitele valori prezumate pentru TTR, întreruptorul fiind considerat ca un element ideal de circuit (tensiunea în arc, și conductivitatea post-arc egale cu zero). Există în acest sens metode utilizabile pentru evaluarea TTRP atît pentru circuitele de încercare din laboratoarele de mare putere, cît și pentru rețelele electrice din exploatare. Metodele de bază utilizate pentru determinarea formei undei TTRP sînt grupate astfel:

a) ruperea directă a curentului de scurtcircuit;
b) injecție de curent la frecvență industrială;
c) injecție de curent de la un condensator;
d) modele de rețele;
e) calcul pornind de la parametrii circuitului;
f) conectarea în gol a rețelei de încercare cuprinzînd transformatoare.

Toate metodele corespund laboratoarelor de încercare, în timp ce metodele de la grupele a, d și e se recomandă pentru încercări din sistemul electroenergetic, respectiv de la grupele b și c pentru elemente de rețele.

Experiența laboratoarelor și stațiilor de încercare din rețele a dovedit că, după întreruperea unui curent de scurtcircuit peste unda de bază a tensiunii de frecvență industrială se suprapune nu numai o oscilație cu una sau mai multe frecvențe, dar că există și componente cu caracter exponențial avînd amplitudini și durate de mărimi semnificative. Aceste componente exponențiale reduc atît valoarea de vîrf, cît și viteza de creștere a TTR, față de cazul cînd ar exista numai componentele oscilatorii (fig. 8.20).

În principiu, toate metodele de măsurare trebuie să sesizeze această influență.

Ruperea directă a curentului de scurtcircuit constă din întreruperea curentului de scurtcircuit real stabilit prin intermediul unei conexiuni metalice

în rețeaua de studiat și înregistrînd TTR cu ajutorul oscilografului. Se recomandă ruperea unui curent simetric, în caz contrar trebuie ținut seama de variația di/dt, mai ales dacă există o asimetrie apreciabilă.

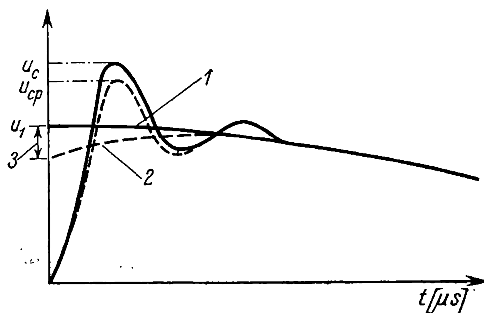


Fig. 8.20. Influența reducerii valorii de vîrf a TTR:

1 — componenta de frecvență industrială fără reducere a tensiunii; 2 — componenta de frecvență industrială cu reducere a tensiunii; 3 — reducerea tensiunii; u_c — valoarea de vîrf specificată a TTR; u_{cp} — TTR măsurată cu reducerea tensiunii; u_1 — valoarea de vîrf a tensiunii la frecvență industrială.

Încercarea se poate executa la frecvență industrială folosind tensiunea nominală și curent de valoare redusă, încercare la tensiune redusă, sau chiar încercare reală de putere de rupere la parametrii nominali.

În cazul folosirii unui întreruptor cu cădere de tensiune mică în arc, apropiat de un întreruptor ideal, se obține o valoare de vîrf ceva mai mică decît în cazul cînd TTR nu pornește de la zero ca urmare a unei căderi de tensiune în arc apreciabilă la trecerea prin zero a curentului (fig. 8.21).

Folosirea curenților foarte mici duce la o întrerupere anticipată trecerii naturale prin zero a curentului (fenomenul de tăiere), care conduce de asemenea la creșterea TTR (fig. 8.22). Curentul post-arc și de asemenea folosirea rezis-

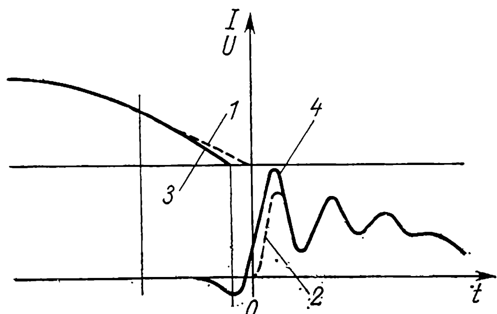


Fig. 8.21. Stingerea arcului la un întreruptor ideal și un întreruptor real:

1, 2 — curentul, respectiv tensiunea la o întrerupere cu un întreruptor ideal; 3, 4 — curentul, respectiv tensiunea la o întrerupere cu un întreruptor real.

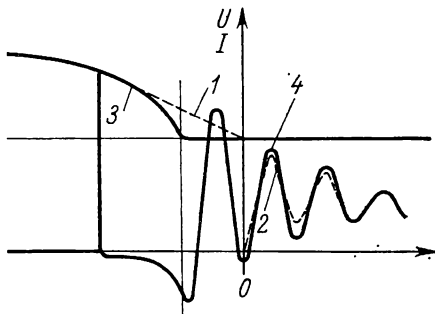


Fig. 8.22. Stingerea arcului cu tăierea curentului înaintea trecerii prin zero:

1, 2 — curentul, respectiv tensiunea la o întrerupere cu un întreruptor ideal; 3, 4 — curentul, respectiv tensiunea, la o întrerupere cu un întreruptor real

tenţelor în paralel cu camera de stingere au un efect de amortizare a TTR (fig. 8.23).

Apare deci o suprapunere a efectelor care desigur sub aspect cantitativ pot fi diferite.

La folosirea acestei metode se recomandă deci utilizarea unei tensiuni reduse convenabil, un întreruptor *în gol* funcţionînd mai aproape de un între-

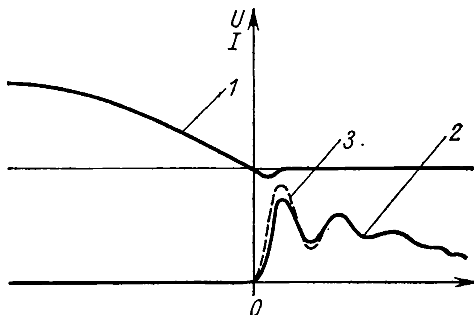


Fig. 8.23. Stingerea arcului cu un curent post-arc:

1, 2 — curentul respectiv tensiunea la o întrerupere cu curent post-arc; *3* — teniunea la o rupere ideală.

ruptor *ideal*. Această apropiere se mai poate realiza şi printr-o întîrziere a momentului separării contactelor, în vederea obţinerii unei durate scurte a arcului şi o cădere de tensiune în arc mică.

Injecţia de curent la frecvenţă industrială a devenit una din cele mai folosite metode în laboratoarele de încercări, deoarece se poate aplica unui circuit fără tensiune înaltă şi în consecinţă nu ţine seama de fenomene corona şi fenomene de saturaţie magnetică.

În principiu metoda constă într-o injecţie de curent de valoare mică (2 ... 300 A) la o tensiune de 200 ... 250 V, în circuitul principal de încercare şi înregistrarea răspunsului circuitului la întreruperea acestui curent cu ajutorul unui aparat de comutaţie ideal. O schemă bloc a unui asemenea aparat se indică în fig. 8.24.

Ca aparat de comutaţie ideal pentru aceste scheme se pot folosi diodele semiconductoare sau tiratroane cu caracteristici adecvate, care rup curentul la trecerea sa naturală prin zero şi au un curent post-arc neglijabil. Detaliile de execuţie a probei depind de aparatul folosit ca sursă, de aparatura de înregistrare şi de experienţa specifică fiecărui laborator de mare putere.

Injecţia de curent de la un condensator constituie o metodă similară cu cea precedentă, curentul care parcurge circuitul fiind obţinut prin descărcarea unui condensator. În aceste condiţii frecvenţa curentului injectat depinde de valoarea capacităţii condensatorului şi de inductanţa circuitului. Se recomandă ca frecvenţa curentului de descărcare să fie inferioară sau egală cu 1/8 din frecvenţa proprie echivalentă a circuitului de încercare. Metoda convine

măsurării TTRP pentru circuitele care conţin elemente care conduc la frecvenţe proprii ridicate (cazul defectului kilometric). În fig. 8.25 se prezintă un exemplu de schemă-bloc pentru folosirea acestei metode, iar în fig. 8.26 succesiunea şi desfăşurarea fenomenelor la încercare.

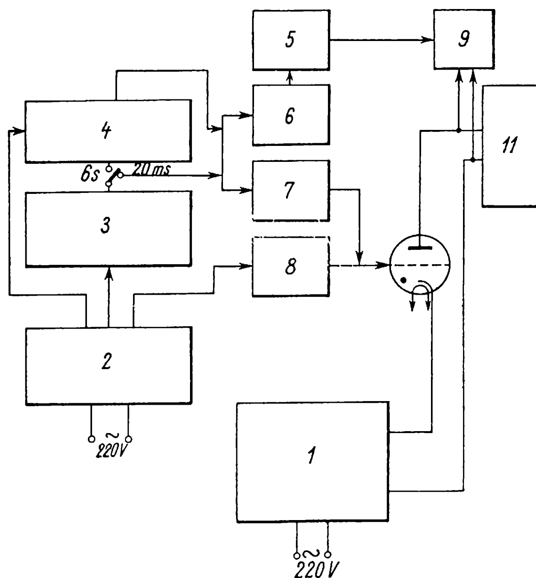


Fig. 8.24. Schema bloc a unui aparat de injecţie de curent, la frecvenţă industrială:

1 — bloc de alimentare transformator şi drosel; *2* — transformator de almentare circuite secundare; *3* — bloc de defazare 1 ... 360 grade electrice; *4* — bloc de întîrziere 6 s: *5* — deblocare spot oscilograf; *6* — bloc de întîrziere 9,7 ms; *7* — transformator de impuls; *8* — circuit de negativare; *9* — oscilograf; *10* — tiratron; *11* — circuitul pentru care se determină TTR.

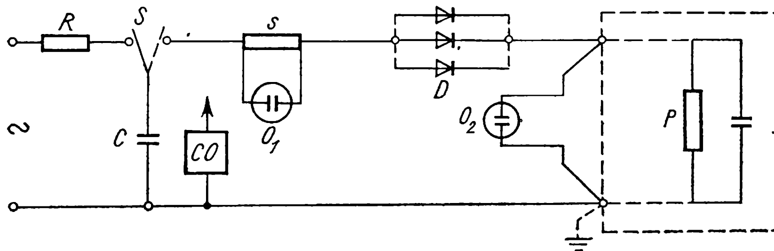


Fig. 8.25. Schema-bloc a unui aparat de injecţie a curentului de la un condensator:

R — rezistenţa de sarcină; *S* — releu de comutare; *C* — condensatorul care constituie sursa; *s* — şunt pentru măsurarea curentului; O_1 — oscilograf catodic pentru înregistrarea curentului injectat şi verificarea funcţionării diodelor; O_2 — oscilograf catodic pentru înregistrarea răspunsului circuitului de încercare; *D* — montaj în paralel de diode cu siliciu cu rupere rapidă (max. 100 diode); *P* — circuitul de încercare; *CO* — element de comandă asigurînd secvenţa din fig. 8.26.

Pentru folosirea injecţiei de curent indiferent de sursa folosită, etalonarea fenomenelor înregistrate este foarte importantă. Pornind de la valoarea măsurată di/dt a curentului injectat imediat înaintea trecerii prin zero, se calculează valoarea efectivă echivalentă a curentului injectat

$$I_i = \frac{di/dt}{2\pi f_i \sqrt{2}} \tag{8.3}$$

unde: f_i este frecvenţa circuitului de injecţie;

$i = I_i\sqrt{2} \sin 2\pi f_i t \approx I_i\sqrt{2}\, 2\pi f_i t$ atunci cînd $t_2 < 1\,250$ μs sau $t_2 < 1\,000$ μs la 60 Hz (v. fig. 8.27).

Pornind de la aceste aproximări se poate deduce regula că frecvenţa curentului injectat trebuie să fie inferioară sau egală cu 1/8 din frecvenţa proprie echivalentă a circuitului studiat. Cînd timpul t_2 al TTR prezumată este superior valorii de 1 250 μs (sau 1 000 μs la 60 Hz), frecvenţa curentului injectat trebuie să fie egală cu valoarea nominală a frecvenţei industriale pentru a reproduce corect descreşterea tensiunii de frecvenţă industrială. Fenomenele corespunzătoare sînt reprezentate în fig. 8.27.

Dacă valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit la putere plină a circuitului este I_{sc} [A], etalonarea tensiunii V_{sc}/mm pentru TTR corespunzătoare acestui curent este

$$V_{sc}/\text{mm} = V_i/\text{mm} \times \frac{I_{sc}}{I_i} \times \frac{f_{sc}}{f_i},$$

unde f_{sc} este frecvenţa curentului de scurtcircuit.

Îndeosebi în cazul metodei de injecţie a curentului de la un condensator, unde forma oscilatorie este uşor amortizată, se recomandă formula fundamentală

$$V_{sc}/\text{mm} = V_i/\text{mm}\left(\frac{di_{sc}/dt}{di_i/dt}\right) \begin{matrix} - i_{sc} \to 0 \\ - i_i \to 0. \end{matrix}$$

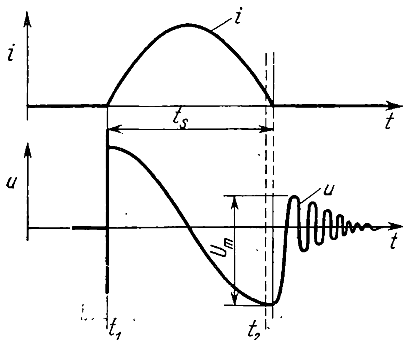


Fig. 8.26. Schema de comandă a aparatului de injecţie de curent de la un condensator:

t_1 — momentul comutării releului S; t_2 — momentul deblocării oscilografului catodic O_2; u — curba tensiunii la bornele circuitului de încercare; i — unda curentului injectat; u_m — valoarea maximă a tensiunii injectate.

Modelele de reţea sînt formate din elemente care trebuie să reproducă exact elementele circuitelor reale, care la rîndul lor nu întotdeauna se pot cunoaşte cu precizie.

Această metodă este utilizată în primul rînd la studiul şi proiectarea reţelelor în obţinerea datelor prezumate pentru TTR care apar în exploatare. Cu aceste date, se corelează condiţiile tehnice de severitate impuse întreruptoarelor la încercări.

Calculul pornind de la parametrii circuitului se poate folosi comod şi cu rezultate plauzibile, atunci cînd se cunosc parametrii circuitului, iar configuraţia lui nu este prea complicată.

Conectarea în gol a rețelei de încercare cuprinzînd transformatoare constă în conectarea în gol a transformatorului ridicător de scurtcircuit folosit la încercare și înregistrarea, cu ajutorul oscilografului, a aliurii TTRP la bornele înfășurării secundare lăsate în gol.

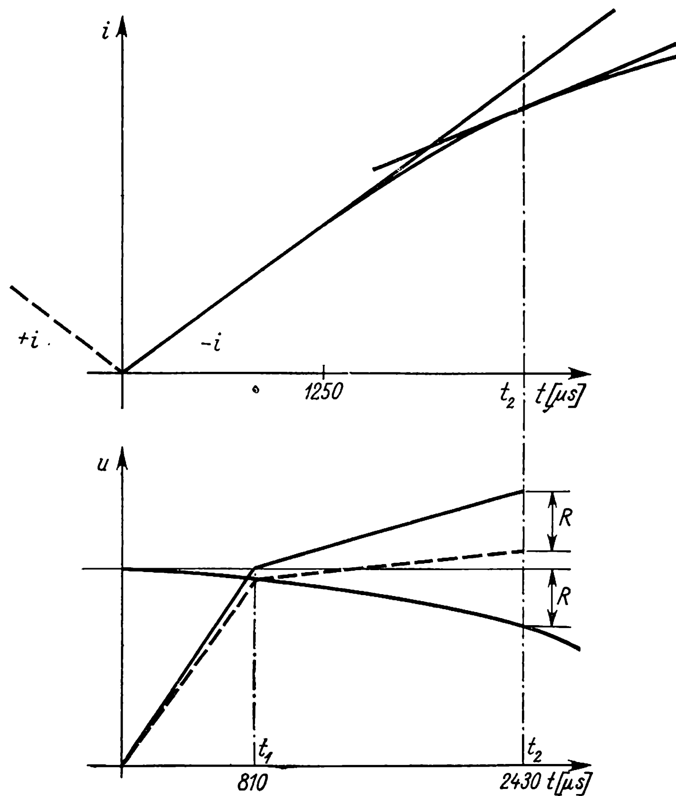


Fig. 8.27. Influiența reducerii R a tensiunii de frecvență industrială (50*Hz*) asupra parametrilor TTR unde:

$$i = I\sqrt{2}\ \sin\ 2\pi ft \approx I\sqrt{2}\, 2\pi ft;\quad \left.\frac{di}{dt}\right|_{t=0} \neq \left.\frac{di}{dt}\right|_{t=t_2}.$$

Se constată din cele prezentate mai sus că determinarea experimentală a TTRP implică o tehnică și aparatură de specialitate, care în prezent nu este verificată și generalizată în toate laboratoarele, comportînd multe aspecte, particulare, specifice de la un laborator la altul.

8.4.8. Tensiunea de restabilire la frecvență industrială

Pe lîngă panta de creștere a tensiunii tranzitorii de restabilire rezultată din forma complicată a oscilațiilor care apar în perioada imediat următoare ruperii curentului, este de asemenea importantă valoarea tensiunii de restabilire

la frecvenţa industrială. Valoarea ei nu trebuie să fie mai mică de 95% din valoarea specificată şi este necesar să fie menţinută timp de minimum 0,1 s. În funcţie de caracteristicile generatorului de scurtcircuit folosit în laborator, obţinerea valorii dorite a tensiunii de restabilire la frecvenţă industrială se poate realiza prin creşterea temporară a excitaţiei generatorului în timpul scurtcircuitului.

Pentru încercarea *în trifazat* a unui întreruptor tripolar, valoarea medie a tensiunii de restabilire pe fază va fi egală cu valoarea nominală $U_n/\sqrt{3}$.

Pentru încercările *în monofazat* ale unui întreruptor tripolar, tensiunea de restabilire este dată de relaţia $U = kU_n\sqrt{3}$, unde k este factorul primului pol care rupe şi are valoarea 1,3 respectiv 1,5, după cum neutrul reţelei este pus la pămînt, respectiv izolat. Această valoare poate fi redusă la $U_n/\sqrt{3}$ după o durată egală cu o perioadă din frecvenţa nominală.

În cazul întreruptoarelor monopolare care funcţionează în reţele monofazate, tensiunea de restabilire la frecvenţă industrială este tensiunea nominală U_n a întreruptorului.

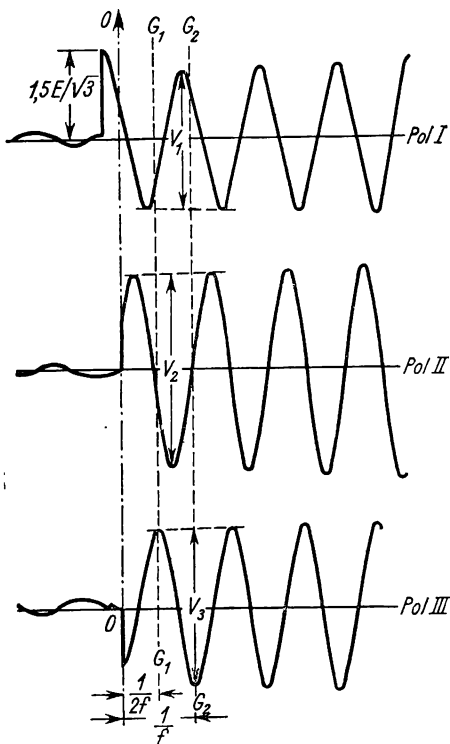


Fig. 8.28. Determinarea tensiunii de restabilire la frecvenţă industrială;

O — momentul de stingere finală a arcului în toate fazele; G_1 — momentul $1/2f$ de la O; G_2 — momentul $1/f$ de la O; f — frecvenţa tensiunii.

Măsurarea şi înregistrarea tensiunii de restabilire de frecvenţă industrială se face la bornele aparatului folosind divizoare sau transformatoare de tensiune. Pe oscilograme se măsoară valoarea în intervalul de timp cuprins între o semiperioadă şi o perioadă din frecvenţa tensiunii de alimentare după stingerea finală a arcului (fig. 8.28).

Exemplul din fig. 8.28 arată trei tensiuni obţinute în timpul încercării unui întreruptor tripolar într-un circuit trifazat avînd neutrul izolat. Pe primul pol care rupe se produce o creştere momentană a tensiunii cu 50%.

Valorile efective ale tensiunii de restabilire de frecvenţă industrială pe oscilogramă se determină astfel:

polul I: $V_1/2\sqrt{2}$;

polul II: $V_2/2\sqrt{2}$;

polul III: $V_3/2\sqrt{2}$;

Pe polul III un vîrf al tensiunii se produce exact în momentul G_1, în care caz măsurarea se face în momentul G_2 care urmează.

Valoarea medie a tensiunii de restabilire pentru cei trei poli, se obţine astfel:

$$U = \frac{1}{3}\left(\frac{V_1}{2\sqrt{2}} + \frac{V_2}{2\sqrt{2}} + \frac{V_3}{2\sqrt{2}}\right). \qquad (8.4)$$

8.5. Scheme de încercare pentru verificarea capacității de comutație prin metode directe și indirecte

În aceste scheme de încercare, proba se execută folosind pentru obținerea curentului și tensiunii, respectiv a puterii de scurtcircuit, o singură sursă de energie, așa cum se prezintă la § 8.2.2. O schemă directă de încercare simplificată se indică în fig. 8.29.

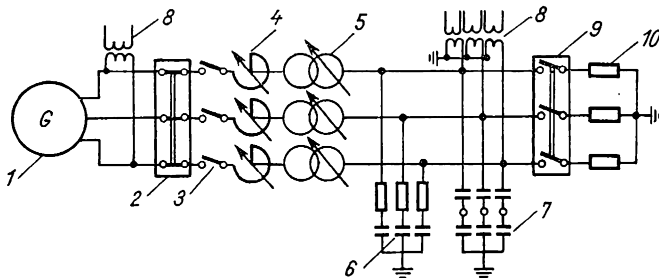


Fig. 8.29. Circuit de încercare trifazat în schemă directă:
1 — generator de scurtcircuit; *2* — întreruptor de protecție; *3* — scurtcircuitor (contactor sincron); *4* — reactanță pentru reglarea curentului de scurtcircuit; *5* — transformatoare ridicătoare; *6* — circuit pentru reglarea tensiunii tranzitorii de restabilire; *7* — divizoare de tensiune; *8* — transformatoare de tensiune; *9* — întreruptorul încercat; *10* — șunturi pentru măsurarea curentului de scurtcircuit.

Frecvența nominală a tensiunii de alimentare trebuie asigurată în general cu o toleranță de $\pm$ 10% în circuitul respectiv.

Factorul de putere, ca valoare medie pe cele trei faze, nu trebuie să depășească 0,15 la întreruptoare și 0,7 la separatoare de sarcină cu o abatere pe diferite faze față de valoarea medie de maximum 25%. Această valoare se realizează fără măsuri speciale la încercarea întreruptoarelor, unde nu se prevăd posibilități de reglare, adoptîndu-se valoarea care rezultă. Constituind un parametru care se asociază capacității de rupere, factorul de putere trebuie însă determinat cu ocazia încercărilor executate. La separatoare de sarcină factorul de putere se reglează prin completarea schemei cu rezistențe ohmice adecvate.

8.5.1. Determinarea factorului de putere de scurtcircuit

Se practică în general trei metode de determinare.

Calcul bazat pe constantele circuitului. Rezistența ohmică R a circuitului de încercare se măsoară în curent continuu. În cazul cînd se folosește și transformator ridicător se măsoară separat rezistențele în primar R_1 și în secundar R_2, iar rezistența echivalentă se determină din relația

$$R_{tr} = R_2 + R_1 k^2, \tag{8.5}$$

în care k este raportul de transformare. Reactanța X a circuitului se determină din relația

$$\frac{E}{I} = \sqrt{R^2 + X^2}.$$

Raportul E/I se deduce din oscilograma înregistrată la probe, prelucrată după exemplul prezentat în fig. 8.2

$$\frac{E}{I} = \frac{B}{D} = \frac{A}{C} \times \frac{F}{G}; \quad E = \frac{B}{2\sqrt{2}}\,[\mathrm{V}]; \quad I = \frac{C}{2\sqrt{2}}\,[\mathrm{A}], \tag{8.6}$$

în care: A și B se exprimă în volți, C și D se exprimă în amperi, iar F și G se exprimă în secunde.

În continuare $\varphi = \operatorname{arc\,tg} \frac{X}{R}$, iar apoi se calculează $\cos \varphi$.

Determinarea pe baza componentei aperiodice. Se pornește de la relația componentei aperiodice

$$i_a = I_{do} \mathrm{e}^{-Rt/L} \tag{7.8}$$

în care: i_a este valoarea componentei aperiodice în orice moment;
I_{a0} — valoare inițială a componentei aperiodice;
L/R — constanta de timp a circuitului, în s;
t — intervalul de timp dintre i_a și I_{a0} exprimat în secunde.

Constanta de timp L/R se determină astfel:

— se măsoară valoarea I_{a0} în momentul conectării și valoarea i_a în oricare alt moment t;

— se determină apoi $\mathrm{e}^{-Rt/L} = \frac{i_a}{I_{do}}$, din care se calculează Rt/L respectiv R/L.

Pe baza acestor date se calculează $\varphi = \operatorname{arc\,tg} \omega L/R$ respectiv $\cos \varphi$.

Determinarea cu generator pilot. În laboratoarele de mare putere generatoarele de scurtcircuit sînt prevăzute cu un generator pilot, care furnizează tensiunea de referință necesară în primul rînd reglajului conectării sincrone.

Din înregistrarea tensiunii generatorului pilot, tensiunii generatorului de încercări și a curentului de scurtcircuit se determină diferența unghiurilor de fază dintre cele trei mărimi, luînd ca element de referință tensiunea generatorului pilot, din care rezultă factorul de putere.

8.5.2. Legarea la pămînt a circuitului de încercări

Schemele realizate la încercare în laborator trebuie să reproducă schemele de funcționare în exploatare, respectiv să permită realizarea condițiilor tehnice impuse aparatului. În aceste scheme legarea la pămînt joacă rol important.

În continuare se prezintă schemele de bază folosite de încercări.

Încercarea în regim trifazat a unui întreruptor tripolar, factorul primului pol care rupe fiind 1,5. În mod normal întreruptorul, avînd șasiului legat

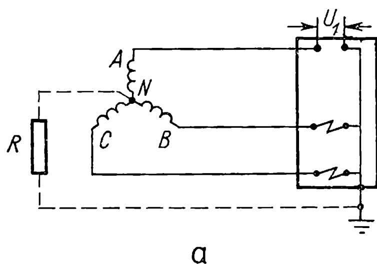
direct la pămînt ca în exploatare, trebuie să fie legat într-un circuit avînd neutrul generatorului de alimentare izolat, iar punctul de scurtcircuitare a polilor întreruptorului legat la masă (fig. 8.30).

Neutrul circuitului de alimentare poate fi legat la pămînt prin intermediul unei rezistențe de valoare cît mai ridicată, valoarea minimă în ohmi fiind egală $U/10$, unde U este valoarea numerică exprimată în volți a tensiunii de fază a circuitului de încercare.

Această schemă prezintă avantajul conectării la masă a șunturilor folosite la măsurarea curenților (fig. 8.29), fără a exista problema potențialelor ridicate la aparatura de înregistrare. Dacă nu este posibilă această schemă, de exemplu în cazul cînd este necesară legarea la pămînt a neutrului generatorului, se impune izolarea punctului de scurtcircuitare a polilor, cu dificultățile care rezultă pentru măsurarea curenților (fig. 8.31).

În fig. 8.30, *b* și 8.31, *b* se vede din diagrama fazorială modul cum rezultă factorul de 1,5 pentru tensiunea U_1 a primului pol care rupe.

Încercarea în regim trifazat a unui întreruptor tripolar, factorul primului pol care rupe fiind 1,3. În acest caz întreruptorul, avînd șasiul legat direct



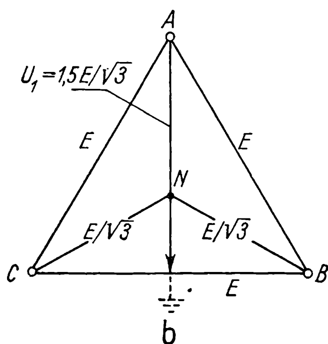
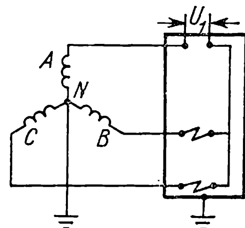


Fig. 8.30. Schema de încercare în trifazat cu legarea directă la masă a punctului de scurtcircuitare a polilor (*a*), rezultînd pentru primul pol care rupe factorul de 1,5 (*b*).



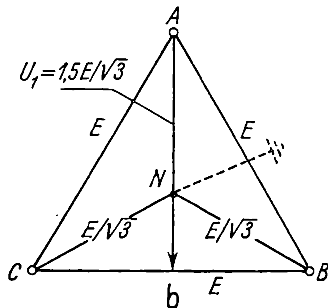
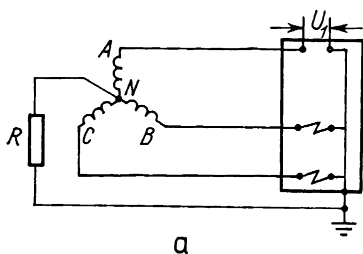


Fig. 8.31. Schemă de încercare în trifazat cu legarea directă la masă a neutrului generatorului de alimentare (*a*), rezultînd pentru primul pol care rupe factorul de 1,5 (*b*).

la pămînt ca în exploatare, se conectează într-un circuit avînd neutrul generatorului (transformatorului) de alimentare pus la masă printr-o rezistență de valoare adecvată (astfel încît factorul primului pol care rupe să rezulte 1,3 — (fig. 8.32). În același timp punctul de scurtcircuitare a celor trei poli se leagă prin intermediul șunturilor de măsură direct la masă.

Și în acest caz se poate adopta o altă variantă de schemă, legînd direct la masă neutrul generatorului, iar punctul de scurtcircuitare fiind legat la masă prin intermediul unei rezistențe sau impedanțe a cărei valoare este astfel aleasă încît factorul primului pol care rupe să fie 1,3 (fig. 8.33).

Încercarea în regim monofazat a unui pol de la un întreruptor trifazat; echivalent unui factor pentru primul pol care rupe de 1,5 (respectiv 1,3). În principiu la asemenea scheme trebuie asigurată o tensiune mai mare cu 50%, respectiv 30% față de tensiunea nominală pe fază. Schemele folosite se prezintă în două variante, după modul cum se face legarea la masă a unei borne a întreruptorului (fig. 8.34, *a*) sau a unui punct intermediar a circuitului de ali-



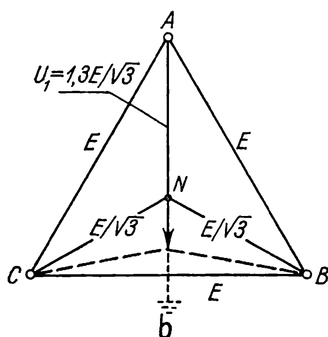
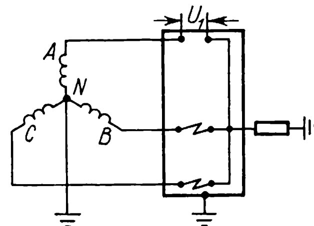


Fig. 8.32. Schemă de încercare în trifazat cu legare a punctului de scurtcircuitare direct la masă și a neutrului generatorului printr-o rezistență (*a*), astfel încît să apară factorul 1,3 (*b*).



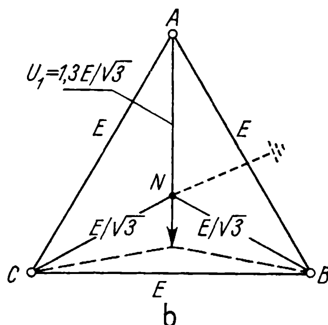


Fig. 8.33. Schemă de încercare în trifazat cu legarea neutrului generatorului (*a*) direct la masă, iar a punctului de scurtcircuitare printr-o impendanță, astfel încît să apară factorul 1,3 (*b*).

mentare (fig. 8.34, *b*). Se recomandă în general ca acest punct intermediar să fie ales ca în 8.34, *b*, schema fiind totuşi decisă de posibilităţile laboratorului.

Schemele mai sus prezentate se utilizează la verificarea capacităţii de rupere, respectiv a puterii de rupere, pentru un scurtcircuit la borne. Pentru un scurtcircuit pe linie, mai ales la distanţe relativ mici, s-au constatat fenomene deosebite, cazul fiind cunoscut sub denumirea de *defect kilometric*.

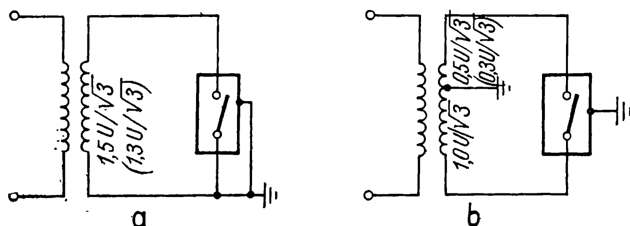


Fig. 8.34. Schemă de încercare în monofazat legînd la o masă o bornă a întreruptorului (*a*) sau un punct intermediar al instalaţiei de alimentare (*b*).

8.5.3. Scheme de încercare la defect kilometric

Încercarea unui întreruptor în regimul de scurtcircuit care apare la anumite distanţe pe linie (defect kilometric), constituie o verificare suplimentară faţă de încercările de bază anterior prezentate, la care se supun în general întreruptoarele tripolare prevăzute pentru a funcţiona în linii electrice aeriene

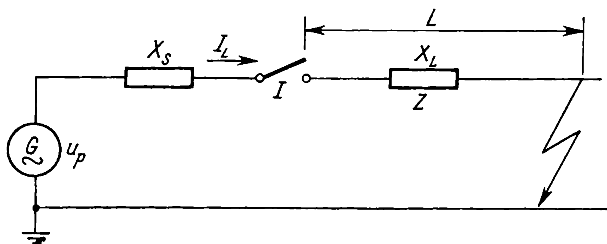


Fig. 8.35. Schema unui circuit pentru verificarea defectului kilometric:

G — sursa de putere de tensiune U_p; I_L — curentul de scurtcircuit la defect kilometric; *I* — întreruptor; X_S, X_L — reactanţa în partea de alimentare, respectiv în partea liniei către consumator; *L* — lungimea liniei pînă la defect.

de transport, avînd o tensiune nominală de minimum 52 kV şi o capacitate nominală de rupere peste 12,5 kA.

Circuitul echivalent corespunzînd unui defect kilometric (fig. 8.35) se compune dintr-un circuit de alimentare în amonte de întreruptor şi dintr-o linie scurtă în partea opusă.

Verificarea comportării întreruptorului la defect kilometric direct în reţea nu comportă elemente speciale în schemă, în timp ce reproducerea circuitului

cu parametrii adecvați în amonte și aval de întreruptor, într-un laborator dotat cu generatoare de scurtcircuit, necesită elemente suplimentare în circuitul de probă (fig. 8.36).

Calculul elementelor de schemă, care modelează defectul kilometric în laborator, pornește de la parametrii impuși tensiunii tranzitorii de restabilire.

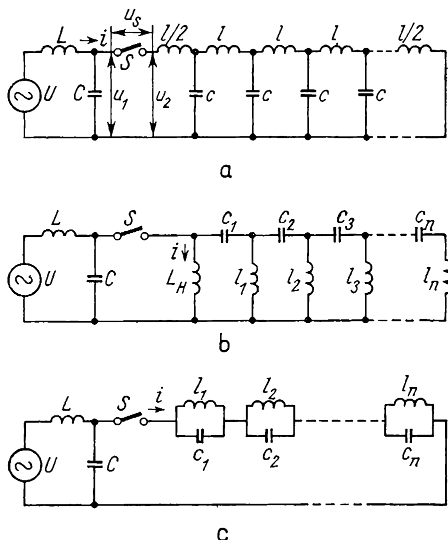


Fig. 8.36. Modele de linie artificială pentru verificarea în laborator a defectului kilometric:

U — tensiunea de șuntare; u_1 — tensiunea în partea de alimentare; u_2 — tensiunea în partea de linie; u_s — tensiunea la bornele întreruptorului; L, C — inductivitatea și capacitatea pe partea de alimentare; l, l_1, ... l_n l_H — inductivități; c, c_1 ... c_n — capacitățile liniei artificiale.

Evident, că un defect pe linie înseamnă o impedanță mai mare a circuitului, deci un curent de scurtcircuit mai mic decît acel care apare în cazul unui defect la borne. Frecvența și mărimea tensiunii tranzitorii de restabilire însă, se formează într-un mod dependent de elementele de circuit în amonte și aval de întreruptor, așa cum se vede în fig. 8.37.

Pentru definirea parametrilor nominali corespunzători încercării la defect kilometric, se consideră suficient numai cazul scurtcircuitelor monofazate față de masă, într-o rețea cu neutrul pus direct la pămînt, schemă care din punct de vedere al severității condițiilor de încercare în general este acoperitor și pentru alte situații. Pornind de la acest considerent, tensiunea de încercare corespunde tensiunii nominale pe fază $U/\sqrt{3}$. Valorile normalizate ale tensiu-

nilor tranzitorii de restabilire corespund valorilor din norme (pentru $k = 1{,}5$), divizînd tensiunile, respectiv vitezele de creştere a tensiunilor, cu factorul primului pol care rupe 1,5, timpii rămînînd nemodificaţi.

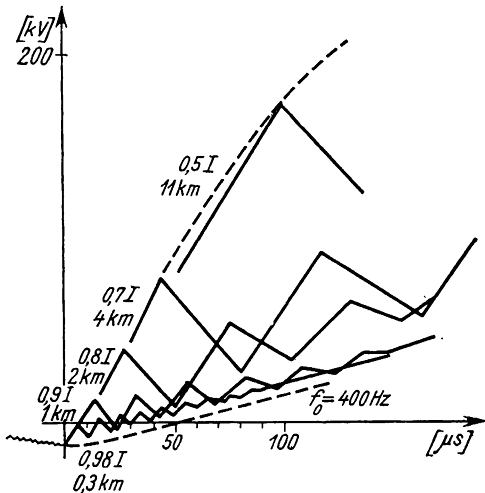


Fig. 8.37. Frecvenţa şi mărimea TTR pentru diferiţi curenţi şi distanţe de scurtcircuit pe linie.

Pentru o asemenea încercare este necesară precizarea caracteristicilor nominale ale liniei. Valoarea normalizată pentru impedanţa de undă nominală Z şi factorul de vîrf nominal k se indică în tabelul 8.2.

Tabelul 8.2

Valorile normalizate ale caracteristicilor nominale ale liniei pentru defect kilometric

Tensiunea nominală U kV	Număr de conductoare în paralel pe fază	Impendanţa de undă nominală Z Ω	Factor de vîrf nominal k	Factorul vitezei de creştere a tensiunii de restabilire s kV/μs kA	
				50 Hz	60 Hz
52	1 la 4	450	1,6	0,200	0,240

Pentru a înţelege mecanismul formării TTR prezentate în fig. 8.37, în continuare se descrie modul de calcul al TTR specificată pentru defectul kilometric pornind de la caracteristicile nominale. Calculul este necesar totodată pentru a determina sau a verifica parametrii nominali ai circuitului de încercare la defecte în linie. Acest calcul simplificat este indicat în fig. 8.35.

Tensiunea la care se alimentează scurtcircuitul monofazat este

$$U_p = U/\sqrt{3}.$$

Valoarea efectivă a căderii de tensiune pe partea de alimentare este

$$U_s = I_L X_s,$$

iar de-a lungul liniei

$$U_L = I_L X_L.$$

În momentul stingerii arcului în întreruptor, valoarea instantanee a tensiunii fază-pămînt pe borna aval a întreruptorului este egală cu

$$u_0 = \sqrt{2} U_L.$$

Această tensiune revine la zero parcurgînd un regim tranzitoriu, care comportă unde mobile ce se propagă de-a lungul liniei între întreruptor și defect, reflectîndu-se la extremități și producînd astfel o tensiune tranzitorie pe partea de linie, avînd aproximativ forma unei oscilații amortizate în dinți de fierăstrău u_L, așa cum se indică în fig. 8.38. Valoarea tensiunii fază-pămînt pe borna amonte a întreruptorului este de asemenea egală cu u_0 în momentul ruperii și crește apoi pînă la valoarea de vîrf u_m, care depinde de caracteristicile TTR ale circuitului amonte, indicată prin u_s în fig. 8.38.

Valoarea de vîrf U_m a tensiunii de frecvență industrială între fază și pămînt în partea amonte, după terminarea regimului tranzitoriu, devine

$$U_m = U_p\sqrt{2} = U\sqrt{\frac{2}{3}}.$$

Tensiunea tranzitorie de restabilire pentru defectul kilometric apărînd ca o rezultantă la bornele întreruptorului, este diferența dintre tensiunea amonte și aval indicată prin $u_s - u_L$ pe fig. 8.38.

Raportul între *tensiunea inițială fază-pămînt* (u_0) și valoarea de vîrf U_m a tensiunii în amonte fază-pămînt, depinde numai de reducerea curentului datorită reactanței liniei. Acest raport este independent de tensiunea nominală, de capacitatea de rupere nominală în scurtcircuit I și de parametrii liniei. Notînd cu I_L capacitatea de rupere la defect kilometric avem

$$u_0/U_m = 1 - I_L/I.$$

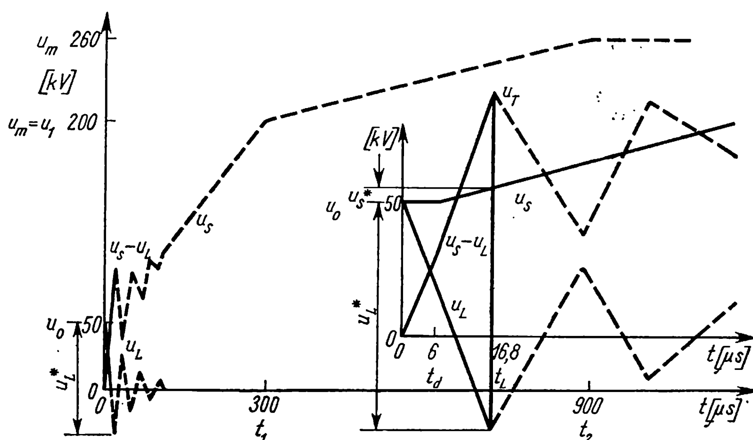


Fig. 8.38. Construcția TTR specificată pentru defect kilometric.

Folosind nomograma din fig. 8.39 valorile acestei ecuații se pot deduce cu ușurință.

Folosind caracteristicile normalizate pentru linie (tabelul 8.2) se poate determina:

Tensiunea tranzitorie pe partea liniei u_L. Astfel, variația u_L^* a tensiunii de linie u_L, pornind de la valoarea inițială u_0, se obține multiplicînd valoarea u_0 cu factorul de vîrf k

$$u_L^* = ku_0;$$

timpul t_L care trece pînă la primul vîrf al tensiunii u_L^* se obține pornind de la viteza de creștere a tensiunii tranzitorii a liniei (du_L/dt) la întreruperea curentului $i = I_L\sqrt{2}\sin 2\pi ft$, la trecerea sa prin zero.

Adică

$$\frac{du_L}{dt} = -ZI_L\sqrt{2}\,2\pi f = -sI_L,$$

unde: $s = Z\sqrt{2}\,2\pi f$ este factorul vitezei de creștere a tensiunii de restabilire;

Z — impedanța de undă a liniei;

f — frecvența nominală.

Valoarea lui s pentru frecvența de 50 sau 60 Hz se ia din tabelul 8.2 și rezultă

$$t_L = \frac{u_L^*}{sI_L}.$$

În continuare tensiunea u_L se apropie de zero prin oscilații amortizate reprezentate din motive de simplitate prin dinți de fierăstrău (v. fig. 8.38).

Se poate obține lungimea aproximativă a liniei corespunzînd defectului kilometric cu ajutorul relației

$$L = \frac{ct_L}{2},$$

în care c este viteza de propagare a undelor mobile presupusă egală cu

$$c = 0{,}3 \text{ km}/\mu\text{s}.$$

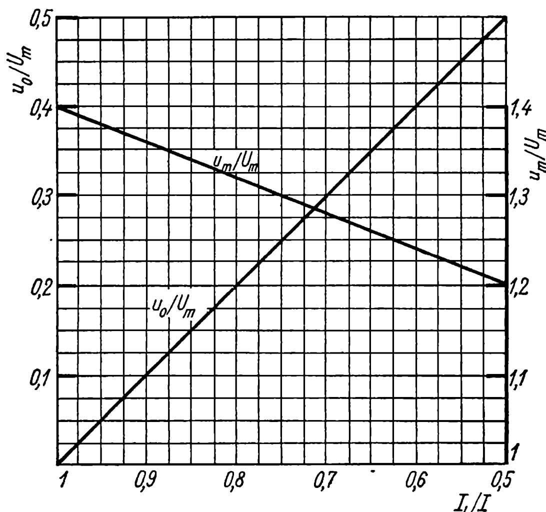


Fig. 8.39. Nomogramă folosită la calculul TTR specificată pentru defect kilometric.

Curba tensiunii tranzitorii pe partea de alimentare u_s poate fi trasată de la valoarea inițială u_0 pînă la valoarea de vîrf u_m, pornind de la valorile indicate în norme (tensiunile fiind divizate cu factorul 1,5, iar timpii nemodificați).

Se folosesc direct timpii t_1, t_2, t_3 și t_d, valoarea tensiunii $u_1/1{,}5$ care este egală cu valoarea de vîrf a tensiunii de frecvență industrială U_m rămîne neschimbată, iar valoarea de vîrf u_c a TTR trebuie să fie redusă la valoarea u_m astfel

$$u_m/U_m = 1 + 0{,}4\,I_L/I.$$

La limită $I_L/I = 1$ și se obține $u_c/U_m = 1{,}4$. Valoarea de vîrf u_m a tensiunii pe partea de alimentare este egală cu cea a TTR rezultată corespunzînd unui defect în linie, (kilometric) cu condiția ca oscilațiile liniei să fi dispărut în timpul t_2 (sau t_3), ceea ce se întîmplă în general.

În funcționare, creșterea inițială a tensiunii pe partea de alimentare va corespunde unei curbe limitate de un segment de dreaptă definind întîrzierea. Cea mai importantă parte a TTR de la un defect kilometric corespunde perioadei care durează pînă la timpul t_L al primului vîrf al tensiunii pe partea de linie. În calculul contribuției u_s^* a tensiunii de alimentare în momentul t_L se comite o eroare neglijabilă dacă nu se ia în considerație curbura și se presupune că tensiunea corespunde unui segment de dreaptă care trece prin punctul t_d ce definește întîrzierea și este paralel cu traseul de referință.

Fig. 8.38. ilustrează desfășurarea întregului calcul a TTR pentru cazul defectului kilometric.

8.5.4. Scheme de încercări la discordanță de fază

În exploatare, datorită alimentării unui scurtcircuit din mai multe surse este posibil să apară în procesul de deconectare a curentului de scurtcircuit discordanță, respectiv opoziție, de fază. Schema de încercări în regim monofazat este concepută astfel încît pe fiecare parte a întreruptorului să apară jumătate din tensiunea aplicată, respectiv jumătate de TTR (fig. 8.40) defazată la 180° electrice.

Implicînd două surse de alimentare separat comandate, schema prezintă dificultăți și de aceea în laboratoarele de încercări se folosesc scheme dotate cu o singură sursă trifazată, utilizînd două tensiuni egale decalate însă la 120° electrice, în loc de 180° electrice, cu condiția ca tensiunea totală la bornele întreruptorului să corespundă celei indicate prin norme (8.41).

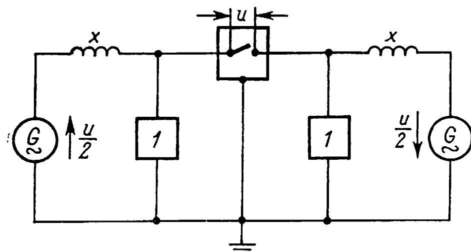


Fig. 8.40. Circuitul de încercare monofazat pentru deconectare în discordanță de fază:
1 — circuit pentru reglare TTR

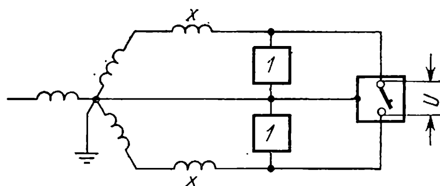


Fig. 8.41. Circuitul de încercări cu două tensiuni egale pentru discordanța de fază, folosind o singură sursă trifazată:
1 — circuit pentru reglare TTR.

În practică se utilizează și alte scheme care în principiu toate trebuie să asigure următoarele tensiuni de încercare:

a) pentru întreruptoarele destinate funcționării în rețele cu neutrul legat direct la pămînt $2U_n/\sqrt{3}$;

b) pentru rețele care nu au neutrul legat direct la pămînt 2,5 $U_n/\sqrt{3}$.

TTR prezumată pentru circuitul de încercare trebuie să aibă un factor de amplitudine de 1,25, iar frecvența proprie 50% din valoarea corespunzătoare capacității de rupere, normalizată la probele de scurtcircuit ale întreruptorului. Adică tensiunea și timpii din norme (factorul primului pol 1,5) se corectează în felul următor:

— valorile u_c se multiplică cu factorul

$$\frac{2}{1,5}\,\frac{1,25}{1,4} = 1,19, \text{ respectiv } \frac{2,5}{1,5}\cdot\frac{1,25}{1,4} = 1,49,$$

pentru cazul a, respectiv b;

— valorile u_1 se multiplică cu factorul

$$\frac{2}{1,5} = 1,33, \text{ respectiv } \frac{2,5}{1,5} = 1,67,$$

pentru cazul a, respectiv b;

— timpii t_1, t_2, t_3 se multiplică cu factorul 2.

8.6. Scheme sintetice utilizate la verificarea capacității de comutație

Complexitatea fenomenelor, varietatea schemelor de principiu și a soluțiilor de realizare practicate în diferite laboratoare, experiența și opiniile relativ diferite asupra folosirii metodelor sintetice, implică un material voluminos de prezentare, din care în continuare se vor selecta numai problemele de bază și schemele de principiu care dovedesc viabilitate mai mare.

Examinînd procesul de rupere, de la separarea contactelor pînă la restabilirea rigidității dielectrice în camera de stingere, se desprind patru perioade foarte importante și anume (fig. 8.42): *perioada arcului electric*, *perioada schimbărilor esențiale a tensiunii în arc înaintea trecerii curentului prin zero*, *perioada curentului post-arc și perioada solicitărilor dielectrice.*

Pe lîngă tensiunea aplicată, curentul de scurtcircuit, tensiunea în arc, tensiunea tranzitorie de restabilire, în procesul de rupere joacă un rol important curentul post-arc și curentul deformant.

Curentul post-arc circulă între contactele deschise ale întreruptorului, în perioada cînd curentul principal de scurtcircuit și tensiunea în arc au devenit zero, iar TTR începe să crească.

Curentul deformant constituie diferența dintre curentul de scurtcircuit prezumat, măsurat cu întreruptorul șuntat, și curentul de scurtcircuit real stabilit pe perioada arcului electric. Între curentul prezumat și cel real, influen-

ţat de prezenţa arcului, apar deformări sub următoarele aspecte fizice: amplitudinea curentului, durata unei alternanţe, energia arcului, forma şi panta curentului (di/dt) cu importanţă deosebită la trecerea prin zero.

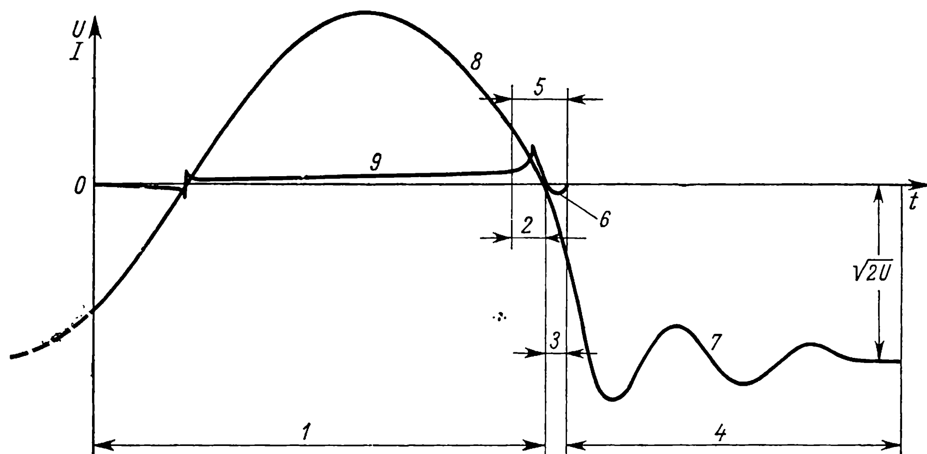


Fig. 8.42. Perioadele procesului de întrerupere a unui curent de scurtcircuit:

0 — momentul separării contactelor; *1* — perioada arcului electric; *2* — perioada schimbărilor esenţiale a tensiunii în arc; *3* — perioada curentului post-arc; *4* — perioada solicitărilor dielectrice; *5* — zona de trecere prin zero a curentului; *6* — curentul post-arc; *7* — TTR; *8* — curentul de scurtcircuit; *9* — tensiunea în arc.

8.6.1. Echivalenţe între schemele de încercări sintetice şi schemele directe de încercări

În principiu o încercare în schemă sintetică se consideră echivalentă cu o încercare în schemă directă dacă se asigură identitatea următoarelor aspecte fizice în desfăşurarea fenomenului de rupere:

a) energia arcului electric în cele două cazuri să fie aceeaşi;

b) variaţia curentului di/dt să fie aceeaşi, reflectînd în mod egal influenţa arcului electric, îndeosebi la trecerea prin zero;

c) tensiunea tranzitorie de restabilire şi tensiunea de restabilire la frecvenţă industrială să fie echivalentă în cele două scheme;

d) în schemele sintetice să se asigure aceeaşi succesiune şi continuitate firească a fenomenelor, respectiv aceleaşi solicitări produse de curent şi de tensiune asupra camerii de stingere;

e) rezultatele unei serii de încercări, trebuie să prezinte aceleaşi aspecte de comportare statistică şi să demonstreze că solicitările curentului şi tensiunii aplicate prin cele două scheme, în cadrul toleranţelor admise, au aceleaşi efecte.

Demonstrarea respectării criteriilor de echivalenţă pentru diferite scheme se face pe cale teoretică prin analiza de detaliu a fenomenelor, luînd în consideraţie aportul introdus de funcţionarea schemelor realizate pe baza înregistrării acestor fenomene în laborator.

8.6.2. Exemple de scheme sintetice

Categoria de scheme sintetice pentru care echivalenţa cu schemele directe se dovedeşte mai sigură şi nu ridică dificultăţi mari în realizarea lor practică, sînt *schemele sintetice cu injecţie de curent sau tensiune.*

Schema de încercare sintetică, în care sursa de tensiune este conectată la circuitul de curent mare la frecvenţă industrială înaintea trecerii sale prin zero se numeşte *schemă cu injecţie de curent.* În acest caz un curent de amplitudine mai redusă, dar de frecvenţă mai ridicată, se suprapune peste curentul principal în întreruptorul încercat şi cel auxiliar.

Schema de încercare sintetică, în care sursa de tensiune este conectată la circuitul de curent mare la frecvenţă industrială după trecerea sa prin zero, se numeşte *schemă cu injecţie de tensiune.* În acest caz circuitul de curent mare la frecvenţă industrială furnizează întregul curent de scurtcircuit pentru întreruptorul încercat şi imediat după trecerea sa prin zero el furnizează de asemenea prima parte a tensiunii tranzitorii de restabilire.

a. **Schema cu injecţie de curent avînd un circuit de tensiune conectat în paralel cu întreruptorul încercat (circuite conectate în paralel).** Aşa cum

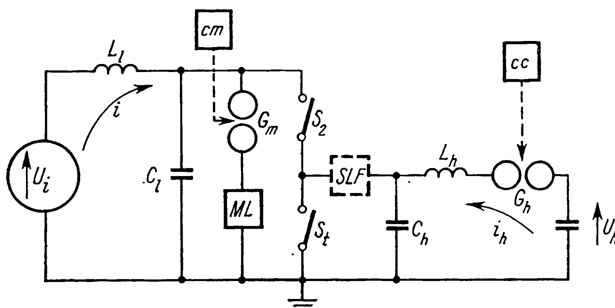


Fig. 8.43. Exemplu de schemă cu injecţie de curent, circuitul de tensiune fiind conectat în paralel la întreruptorul încercat:
U_1 — tensiunea de alimentare a circuitului de curent la frecvenţă industrială; L_1 — reactanţa de reglaj a curentului i; C_1 — capacitatea circuitului de curent la frecvenţă industrială; S_t, S_a — întreruptorul încercat, respectiv întreruptorul auxiliar; G_h, G_m — instalaţia de conectare a circuitului de tensiune, respectiv a circuitului de reaprindere cu mai multe alternanţe; *cc*, *cm* — circuitele de comandă programată a instalaţiilor de conectare G_h şi G_m; U_h — tensiunea circuitului de tensiune care injectează curentul i_h; L_h — reactanţa circuitului de tensiune; C_h — capacitatea circuitului de tensiune care împreună cu L_h reglează parametrii TTR; *ML* — circuitul de reaprindere cu mai multe alternanţe; *SLF* — circuit pentru defect kilometric.

se vede în schema simplificată din fig. 8.43, cu puţin timp înaintea trecerii prin zero a curentului de frecvenţă industrială i, prin conectarea circuitului de înaltă tensiune se suprapune curentul oscilant de înaltă frecvenţă i_h cu

aceeași polaritate. Forma undei curentului rezultant variază cu momentul conectării circuitului de tensiune în paralel cu întreruptorul încercat (fig. 8.44).

După deconectarea întreruptorului auxiliar, întreruptorul încercat rămîne conectat numai la circuitul de tensiune care furnizează TTR.

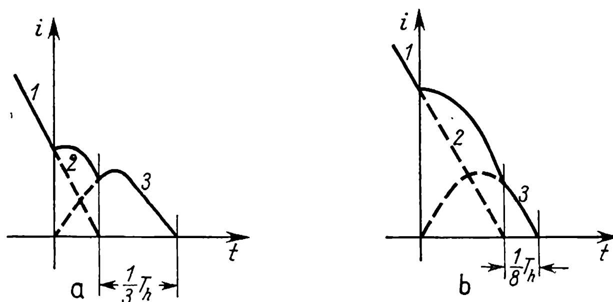


Fig. 8.44. Exemple de forme a undei de curent aferente schemei din fig. 8.43 pentru două momente de conectare: 1 — curentul în întreruptorul încercat S_t; 2 — curentul în întreruptorul auxiliar S_l; 3 — curentul injectat.

b. **Schema cu injecție de curent avînd un circuit de tensiune conectat în paralel la întreruptorul auxiliar (circuite conectate în serie).** În acest caz (fig. 8.45), cu puțin timp înaintea trecerii prin zero a curentului de frecvență industrială i, prin conectarea circuitului de înaltă tensiune se suprapune curen-

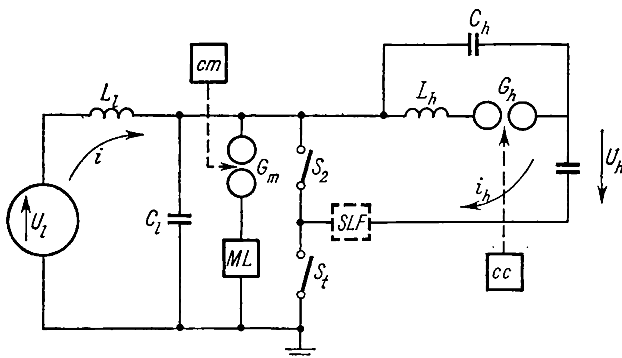


Fig. 8.45. Exemplu de schemă cu injecție de curent, circuitul de tensiune fiind conectat în paralel la întreruptorul auxiliar. (Notațiile ca în fig. 8.43).

tul oscilant de înaltă frecvență i_h cu polaritate opusă, apărînd un curent rezultant de formă dependentă de momentul conectării (fig. 8.46).

Întreruptorul, încercat în această schemă, face parte dintr-un circuit compus din circuitul de curent de frecvență industrială și circuitul de tensiune, ambele fiind conectate în serie. După întreruperea curentului rezultant de către

întreruptorul încercat, TTR este furnizată atît de circuitul de tensiune cît și de circuitul de curent de frecvență industrială.

c. **Schema cu injecție de tensiune avînd un circuit de tensiune conectat în paralel la întreruptorul încercat (circuite conectate în paralel).** Așa cum

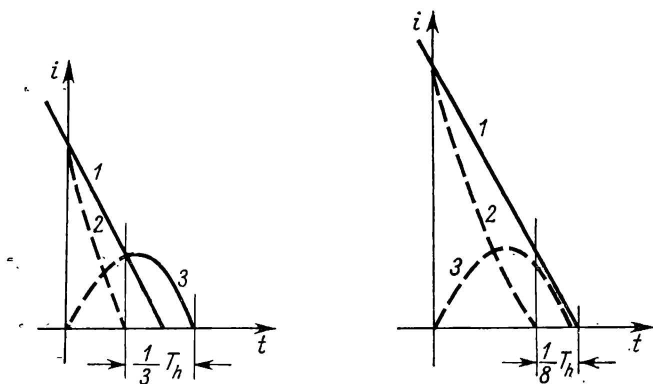


Fig. 8.46. Exemple de forme a undei de curent aferente schemei din fig. 8.45 pentru două momente de conectare. (Notații fig. 8.44).

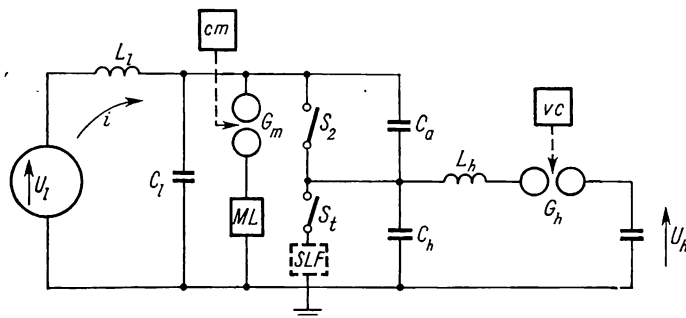


Fig. 8.47. Exemplu de schemă cu injecție de teniune, circuitul de tensiune fiind conectat în paralel la întreruptorul încercat. (Notațiile ca în fig. 8.43).

se vede în fig. 8.47, după trecerea prin zero a curentului de scurtcircuit la frecvență industrială, condensatoarele legate în paralel cu întreruptorul auxiliar și cel încercat transmit TTR circuitului de curent la frecvență industrială pînă la întreruptorul încercat și în același timp transmit energia necesară pentru curentul post-arc.

Curentul în întreruptorul încercat și forma tensiunilor aplicate întreruptorului încercat și auxiliar se dau în fig. 8.48, *a*.

Tensiunile celor două surse se suprapun pentru a produce TTR aplicată întreruptorului și reglată cu ajutorul elementelor C_h, C_a și C_1.

d. **Schema cu injecţie de tensiune avînd un circuit de tensiune în paralel cu întreruptorul auxiliar (circuite conectate în serie)** (fig. 8.49). Fenomenele se dezvoltă similar ca în cazul schemei din fig. 8.47, aşa cum rezultă şi din formarea TTR prezentată comparativ în fig. 8.48, *b*.

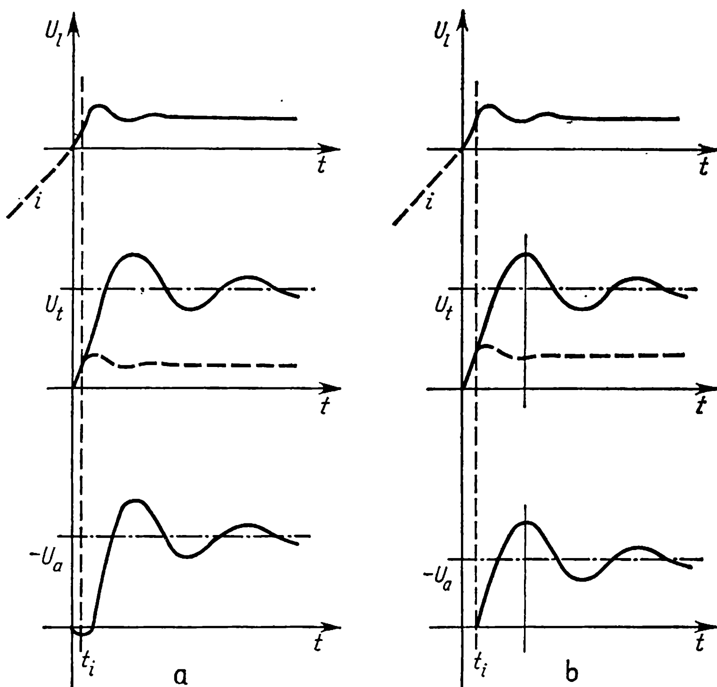


Fig. 8.48. Forma undei TTR:

a — în cazul schemei din fig. 8.47; *b* — în cazul schemei din fig. 8.49; *i* — curentul de frecvenţă industrială; u_l — TTR datorită circuitului de curent la frecvenţă industrială; u_t — tensiunea la bornele întreruptorului încercat; u_a — tensiunea la bornele întreruptorului auxiliar; t_i — momentul injecţiei de tensiune.

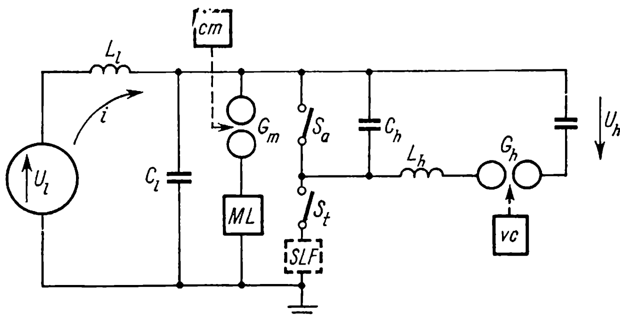


Fig. 8.49. Exemplu de schemă cu injecţie de tensiune, circuitul de tensiune fiind conectat în paralel la întreruptorul auxiliar (Notaţiile ca în fig 8.43).

De asemenea, s-au studiat în multe variante scheme sintetice cu injecție de tensiune, care folosesc o priză sau o înfășurare de tensiune înaltă de la transformatorul care alimentează și circuitul de curent mare la frecvență industrială, alimentarea făcîndu-se de la aceeași sursă (fig. 8.50).

Indiferent de varianta folosită, circuitul de tensiune conectat sincron prin intermediul unei instalații de comandă de mare precizie trebuie să asigure succesiunea fenomenelor fără pauză, adică să realizeze continuitatea normală a solicitărilor produse de curent și de tensiune asupra camerii de rupere.

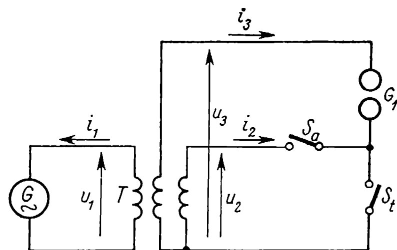


Fig. 8.50. Schema de principiu a unei scheme sintetice cu injecție de tensiune asigurată de la o înfășurare de înaltă tensiune:

G — generator de scurtcircuit; T — — transformator cu trei înfășurări; S_t — întreruptorul încercat; S_a — întreruptorul auxiliar; G_1 — eclator de comandă.

8.7. Regimuri speciale pentru verificarea capacității de comutație în condiții de laborator

În subcapitolele precedente s-au prezentat schemele și metodele folosite la executarea probelor de bază privind verificarea capacității de comutație la întreruptoare, cu unele digresiuni și asupra anumitor încercări pentru regimuri speciale, cum ar fi defectul kilometric și ruperea în discordanță de fază. În prezentul subcapitol se prezintă în continuare pe scurt particularitățile principale asupra încercărilor de comutație în regimuri speciale, pentru întreruptoare.

8.7.1. **Încercarea la curent critic**

Întreruptoarele cu autoformare de gaze (autosuflaj), cum ar fi cele cu ulei, prezintă un curent critic cu o prelungire maximă a duratei arcului, care poate fi sub 10% din capacitatea nominală de rupere. Deci, dacă la secvența nr. 1 de încercări (10%) se constată o durată medie a arcului mult superioară duratei obținute la secvența nr. 2 (30%), atunci se recomandă executarea unor cicluri de probe de rupere în gama 2 ... 3%, respectiv 4 ... 6% din capacitatea de rupere, TTR fiind stabilită în concordanță cu parametrii standardizați, multiplicînd timpul t_3 cu factorul $\sqrt{10/x}$, unde x este curentul rupt exprimat în procente din puterea nominală de rupere.

8.7.2. **Încercări la defect kilometric (defect în linie)**

Valoarea curentului de scurtcircuit în acest caz trebuie stabilită ținînd seama atît de impedanța în amonte, cît și de impedanța în aval de întreruptor. Impedanța în partea de alimentare (amonte) trebuie să corespundă aproximativ la 100% din capacitatea de rupere nominală, la valoarea nomi-

nală a tensiunii de fază. În partea de linie (aval) se specifică trei valori de impedanță corespunzînd respectiv la 90%, 75% și 60% din componenta aperiodică a capacității de rupere nominală în scurtcircuit. Valoarea relativă în procentul componentei aperiodice în momentul separării contactelor trebuie să fie sub 20% la aceste încercări.

TTR se va regla așa cum se precizează în § 8.5.3.

Ciclul de încercări la defect kilometric se limitează în general numai la manevra de deconectare.

Se pot admite și manevre de închidere-deschidere.

Programul de încercare cuprinde deci trei probe și anume: ciclurile de (90 ± 5)%, (75 ± 5)% și (60 ± 5)% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit și cu TTR prezumată, cu parametrii adecvați.

Încercarea la defect kilometric se poate executa și pe elemente separate de întreruptor.

TTR pe elemente separate, specificată pe partea de alimentare, este indicată în fig. 8.51, *a*.

În practică, utilizarea liniei de încercări artificiale compusă dintr-un anumit număr de elemente inductanță/capacitate poate provoca o anumită aplatisare a vîrfului. Aceasta poate fi acceptată cu condiția ca tensiunea specificată să fi atins înainte timpul specificat pentru primul vîrf.

Fig. 8.51, *b* indică detaliile relative la componentele individuale și la tensiunea tranzitorie de restabilire rezultată prin condițiile specificate și pentru circuitul de încercare.

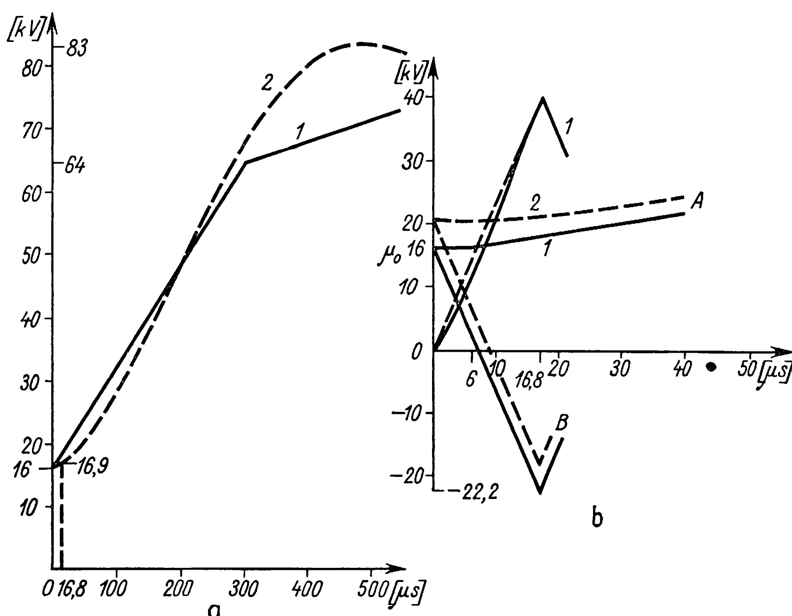


Fig. 8.51. Valori specificate și de încercare ale TTR la defect kilometric: *a* — pe partea de alimentare; *b* — componentele și rezultanta; *1* — valori specificate; *2* — valori de încercare; *A* — sursă; *B* — linie.

8.7.3. Încercări de deconectare a liniilor în gol

Întreruptoarele din rețelele aeriene de înaltă tensiune trebuie în mod frecvent să întrerupă în gol aceste linii, a căror lungime poate fi uneori foarte mare.

Întreruperea curentului în cazul acestui circuit particular (fig. 8.52, *a*) conduce de asemenea la fenomene specifice (fig. 8.52, *b*, *c*, *d*), care pot constitui dificultăți în procesul de rupere, de unde rezultă necesitatea executării acestor încercări de verificare.

Pe lîngă probele executate în exploatare, asemenea încercări se realizează și în laborator folosind capacități concentrate într-unul sau mai multe din elementele Π prezentate în fig. 8.52, *a*. Asemenea încercări sînt limitate de anumite restricții, echivalența lor fiind acceptată în general numai la încercarea întreruptoarelor care nu prezintă reamorsări.

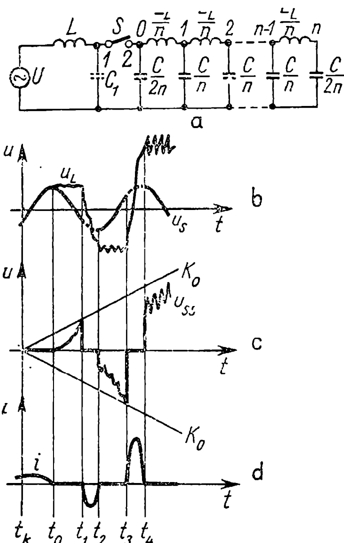


Fig. 8.52. Schema echivalentă și fenomenele care au loc la deconectarea unei linii în gol:
a — schema echivalentă; *b* — variația tensiunilor pe linie u_L și pe bare u_b; *c* — variația tensiunilor în camera de stingere u_s și k_0 curba rigidității dielectrice a intervalului de arc; *d* — variația curentului *i* între contactele de rupere.

8.7.4. Încercări de deconectare a cablurilor în gol

Asemenea încercări se execută cu mai multă ușurință în exploatare. Totuși în condiții de laborator se pot realiza circuite cu capacități concentrate într-o schemă echivalentă care trebuie să reprezinte cît mai fidel cablul deconectat.

La încercarea întreruptoarelor tripolare cu tensiuni nominale $U_n \leqslant 24$ kV, schema echivalentă trebuie să conțină două baterii conectate în paralel, avînd curenți capacitivi aproximativ egali, iar una din baterii să fie conectate în stea pentru ca punctul neutru să se poată lega la pămînt.

Atunci cînd se utilizează condensatoare pentru simularea cablurilor, în serie cu condensatoarele se poate lega o rezistență neinductivă de circa 25 Ω pentru a reprezenta impedanța de undă a cablului.

Caracteristicile circuitului capacitiv împreună cu dispozitivele de măsurare necesare cum ar fi divizoarele de tensiune, trebuie să fie astfel alese, încît căderea de tensiune să nu depășească 10% la sfîrșitul unei perioade de 10 ms după stingerea finală a arcului electric.

8.7.5. Încercări de deconectare a bateriilor de condensatoare

Aceasta constituie o încercare specială de comutație și se execută de regulă în regim trifazat, iar în regim monofazat numai la întreruptoarele care nu prezintă reamorsări. La aceste probe se utilizează baterii de condensatoare de putere suficientă, realizînd de regulă două circuite de încercare.

Primul circuit de alimentare trebuie să prezinte o impedanţă astfel încît curentul său de scurtcircuit să nu depăşească 10% din capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit a întreruptorului.

Al doilea circuit de alimentare are de asemenea impedanţă cît mai scăzută, fără însă ca valoarea curentului său de scurtcircuit să depăşească capacitatea de rupere nominală la scurtcircuit a întreruptorului. Capacitatea celor două circuite de alimentare trebuie să fie cît mai mică, respectînd însă realizarea parametrilor TTR specificaţi.

Din punct de vedere al constantei de timp la descărcarea bateriei de condensatoare este necesar ca valoarea căderii de tensiunii să nu depăşească 10% la sfîrşitul unui interval de 10 ms după stingerea finală a arcului.

8.7.6. Încercări de deconectare a curenţilor mici inductivi

Deconectarea curenţilor mici inductivi datorită particularităţilor circuitului de rupere (fig. 8.53) generează supratensiuni (fig. 8.54), care pot constitui dificultăţi unei funcţionări corecte a întreruptorului în acest regim special.

Asemenea cazuri se întîlnesc frecvent, de exemplu la deconectarea transformatoarelor în gol. O asemenea încercare se execută în laborator, asigurînd schema şi condiţiile tehnice convenite pentru întreruptorul respectiv.

8.8. Particularităţi privind încercarea separatoarelor de sarcină

Separatoarele de sarcină sînt aparate mecanice de conexiune, capabile de a conecta, suporta şi întrerupe curenţii în condiţiile normale de funcţionare a circuitului, de a suporta pe o durată de timp specificată curenţii în condiţii

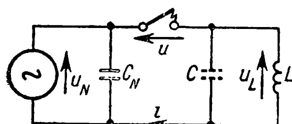


Fig. 8.53. Schema de principiu pentru deconectarea curenţilor mici inductivi.

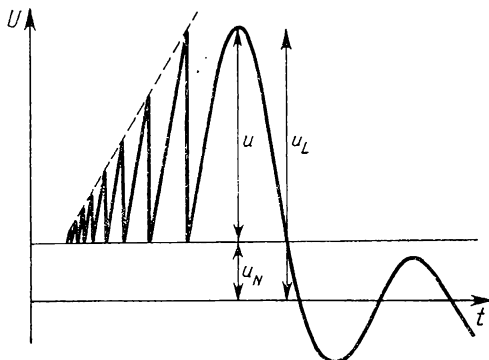


Fig. 8.54. Supratensiuni de comutaţie care apar la ruperea curenţilor mici inductivi, la trecerea curentului prin zero.

anormale de funcţionare a circuitului, cum ar fi cei de scurtcircuit, şi care în poziţia deschis satisfac condiţiile de izolare specificate pentru separatoare.

De asemenea ele pot fi capabile de a stabili, dar nu şi de a întrerupe curenţii de scurtcircuit.

Ca şi la întreruptoare, prin capacitatea de rupere se înţelege curentul pe care este capabil să-l întrerupă aparatul, sub o tensiune dată şi în anumite condiţii de funcţionare specificate, produsul lor constituind puterea de rupere.

Separatoarele de sarcină, după caracterul circuitului în care execută ruperea pot să posede următoarele regimuri de funcţionare:

— comutarea circuitelor predominant active, la care sarcina are un factor de putere inductiv de 0,7;

— comutarea sarcinilor de buclă, la care factorul de putere este 0,3 inductiv, într-un circuit în care după rupere ambele borne ale separatorului de sarcină rămîn sub tensiune, aceasta fiind sensibil mai mică decît tensiunea nominală a reţelei;

— deconectarea transformatoarelor în gol;

— deconectarea bateriilor unice de condensatoare la care sarcina este formată dintr-o baterie de condensatoare conectată în paralel la reţea, a cărui curent de conectare este limitat atît de capacitatea bateriei, cît şi de inductanţa reţelei, excluzînd prezenţa în apropiere a unei alte baterii de condensatoare care să ducă la modificarea apreciabilă a curentului de conectare;

— deconectarea liniilor în gol;

— deconectarea cablurilor în gol.

Valorile nominale ale capacităţilor de rupere specificate în Publicaţia 265 a CEI sînt trecute în tabelul 8.3. De remarcat că nu întotdeauna capacitatea de rupere nominală, coincide cu valoarea curentului nominal la funcţionarea continuă.

Tabelul 8.3

Coordonarea valorilor nominale ale separatoarelor de sarcină

Curenţi nominali la funcţionarea continuă, A	10*; 16*, 31,5; 100; 200; 400; 630; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000;
Capacităţi de rupere nominale pentru linii sau cabluri în gol, A	2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63.
Capacităţi de rupere nominale pentru transformatoare în gol, A	2,5; 4; 6,3; 10; 16;

*) Numai pentru separatoare destinate exclusiv comutării bateriilor unice de condensatoare.

Separatoarele de sarcină, după modul cum fac față la aceste regimuri de lucru se împart în trei grupe:

Separatoare de sarcină de uz general caracterizate prin aceea că au cel puțin o capacitate de rupere a sarcinii predominant active egală cu valoarea curentului nominal la funcționarea continuă și o capacitate de rupere nominală a transformatoarelor în gol.

După numărul de manevre pe care un aparat poate să-l efectueze fără revizie și readucere în starea inițială se întîlnesc două tipuri de separatoare de sarcină:

— tipul A, care sînt destinate să lucreze în condiții normale;

— tipul B, la care curenții nominali nu pot depăși 630 A și care sînt destinate să efectueze un număr mare de manevre la plină sarcină.

Evident, modul cum se verifică capacitatea de rupere va fi determinat și de tipul căruia îi apaține aparatul.

Separatoarele de sarcină de uz general, la care curentul nominal în funcționarea continuă este egal sau mai mare de 200 A trebuie să posede suplimentar:

— capacitate de rupere a sarcinii de buclă, care va fi egală cu valoarea curentului lor nominal, la tensiuni egale sau mai mici de 0,25 din tensiunea nominală;

— capacitate de rupere a liniilor în gol și a cablurilor în gol egală cu una din valorile nominale specificate, la toate tensiunile mai mici sau egale cu tensiunea nominală.

Separatoare de sarcină numai pentru deconectarea transformatoarelor în gol. Nu este necesar ca acestea să rupă și curentul normal de funcționare continuă, și în acest caz trebuie să fie prevăzute cu dispozitiv de blocare pentru a evita manevrele de sarcină.

Separatoare de sarcină special destinate pentru baterii unice de condensatoare caracterizate prin aceea că au o putere de rupere nominală specificată pentru acest regim. Curentul lor nominal de funcționare continuă este egal cu capacitatea de rupere nominală.

Dacă aparatul posedă capacitate de închidere, se indică pe plăcuță și va fi egală cu valoarea de vîrf a curentului admisibil nominal.

Încercările sînt diferențiate în funcție de tipul aparatului și sînt prezentate în cele ce urmează.

Încercări de tip:

— verificarea nivelului de izolație la impuls și frecvență industrială, în stare uscată și eventual sub ploaie, a circuitului principal și de ținere la tensiune industrială a echipamentului auxiliar;

— verificarea încălzirii circuitelor principale și a echipamentelor auxiliare;

— verificarea capacității de închidere și de rupere;

— verificarea aptitudinii de a suporta valoarea de vîrf a curentului admisibil nominal și a curentului de scurtă durată, admisibil nominal;

— verificarea rezistenței mecanice la uzură;

— verificarea funcționării în cazul formării de gheță (pentru aparatele de exterior).

Încercări de serie (individuale):

— verificarea la ținere în stare uscată a tensiunii de frecvență industrială a circuitelor principale și a echipamentului auxiliar;

— măsurarea rezistenței circuitelor principale;

— verificarea funcționării mecanice.

Cu excepția încercărilor de verificare a capacității de comutație, toate celelalte se execută ca și la întreruptoare și sînt tratate anterior.

8.8.1. Verificarea capacității de comutație

Separatorul de sarcină supus încercării trebuie să fie complet montat pe propriul său suport, sau pe unul echivalent, în poziție normală de funcționare. Din punct de vedere mecanic el trebuie să corespundă datelor nominale specificate de constructor. Alimentarea circuitelor de comandă se va face la valorile minime admisibile.

De regulă încercarea se execută în trifazat. Dacă fiecare pol constituie o unitate separată, încercarea se poate face și monofazat, cu condiția respectării principiilor prezentate la întreruptoare.

Curentul rupt trebuie să fie simetric, cu amortizare neglijabilă. Contactele de rupere nu trebuie să se separe înainte de dispariția componentei tranzitorii a curentului din circuit. La încercarea trifazată, curentul rupt este media aritmetică a curenților măsurați pe fiecare fază, cu o toleranță de $+ 10\%$, față de valoarea impusă, cu excepția încercării în seria 1.b, la care toleranța este de $\pm 20\%$.

În cazul încercării monofazate a unui aparat trifazat, tensiunea aplicată trebuie să fie egală cu tensiunea de fază multiplicată cu factorul K a cărui valoare este precizată pentru fiecare tip de încercare în parte.

Tensiunea aplicată, măsurată la încercări de rupere, trebuie să nu se abată cu mai mult de $\pm 5\%$ de la valoarea specificată, cu excepția verificării puterii de rupere a sarcinii de buclă, cînd tensiunea trebuie să fie 25% din această valoare. Pentru încercările de capacitate de închidere a curenților de scurtcircuit, valoarea medie efectivă a tensiunii aplicate imediat înaintea încercării nu trebuie să depășească cu mai mult de 10% valoarea tensiunii nominale.

Diferența între valoarea medie și cea a tensiunilor pe fiecare fază nu trebuie să depășească 5%.

În tabelul 8.4 sînt precizate pentru fiecare tip de separator de sarcină încercările ce se execută pentru determinarea puterii de rupere.

Tabelul 8.4

Seriile de încercări pentru verificarea puterii de rupere

Seria de încercări		Separatoare de sarcină de uz general			Separatoare de sarcină pentru transformatoare în gol	Separatoare de sarcină pentru baterii unice de condensatoare	Observații și condiții
		< 200 A	200—630 A	> 630 A			
1		2	3	4	5	6	7
1	a	x	x	x	—	—	—
	b1	x	x	x	—	—	b1: separatoare de sarcină în ulei
	b2	x	x	x	—	—	b2: celelalte separatoare de sarcină
	c1	x	x	x	—	—	c1: separatoare de sarcină grupa A
	c2	x	x	—	—	—	c2: separatoare de sarcină grupa B
2		—	y	y	—	—	Încercări obligatorii la cel puțin cele la care impendanța circuitului de alimentare nu este 25% în cursul seriei de încercări nr. 1
3		x	x	x	x	—	
4		—	—	—	—	x	
5		—	x	x	—	—	
6		—	x	x	—	—	
7		y	y	y	y	y	Încercări obligatorii pentru separatoare de sarcină avînd I_{mu} (toate separatoarele de sarcină de interior și cele de exterior la care tensiunea nominală $\leqslant$ 38 kV)

Notă. Semnificația notațiilor utilizate în tabelul acesta este următoarea: x — încercări obligatorii; y — încercări dependente de condițiile figurate în coloana 7.

8.8.2. Verificarea capacității de rupere a sarcinii predominant active

Această verificare se face executînd seria de încercări nr. 1 care cuprinde:

1.a) 5 manevre de închidere-deschidere la 100% din puterea nominală;

1.b.1) 20 de manevre de închidere-deschidere la 25% din puterea nominală;

1.b.2) 20 de manevre de închidere-deschidere la 5% din puterea de rupere nominală, dar la un curent nu mai mic de 5 A;

1.c.1) 15 manevre de închidere-deschidere la 100% din puterea nominală de rupere;

1.c.2) 100 de manevre de închidere-deschidere la 100% din puterea de rupere nominală.

La această serie $K = 1$ pentru închidere şi $K = 1{,}5$ pentru deschidere. Cu acordul constructorului se poate lua şi pentru închidere $K = 1{,}5$. Circuitul de încercare este format dintr-un circuit de alimentare şi unul de sarcină.

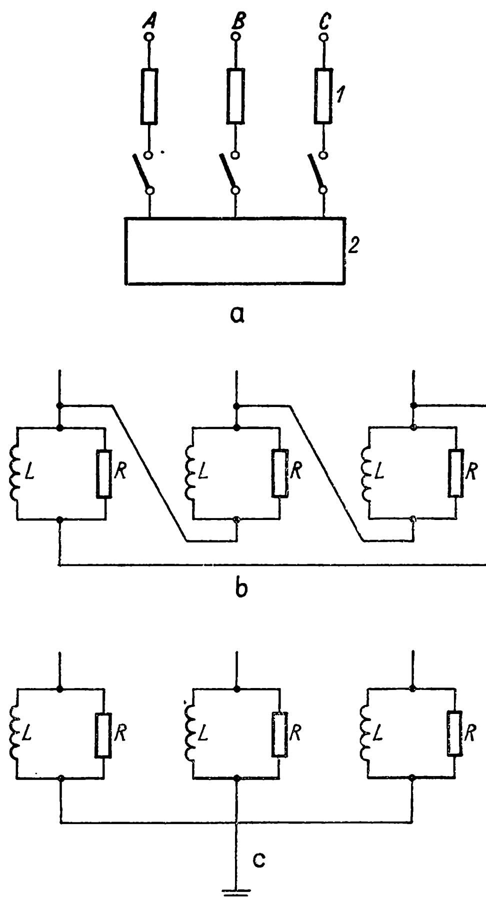


Fig. 8.55. Circuit pentru încercări trifazate de comutaţie a sarcinii predominant active:

a — configuraţia generală a circuitului; *b* — sarcină în conexiune triunghi; *c* — sarcină în conexiune stea; *1* — Impendanţa sursei; *2* — sarcină; *L* — inductivitate de sarcină; *R* — rezistenţă de sarcină.

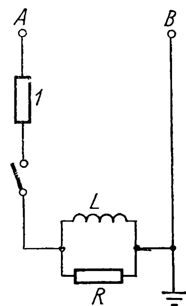


Fig. 8.56. Circuit pentru încercări monofazate de comutaţie a sarcinii predominant active:

1 — impendanţa sursei; *L* — inductanţă de sarcină; *R* — rezistenţă de sarcină.

Circuitul de alimentare trebuie să aibă un factor de putere care să nu depășească 0,2 și să corespundă următoarelor condiții: componenta simetrică a curentului de scurtcircuit să nu depășească curentul de scurtă durată admisibil nominal al aparatului, cu o toleranță de — 5%; valoarea impedanței sale să fie cuprinsă între 12% și 18% din valoarea impedanței totale a circuitului de încercare.

Circuitul de sarcină trebuie să aibă factorul de putere cuprins între 0,65 și 0,75 și constituit din inductanțe L cu rezistențe R conectate în paralel.

La încercări în trifazat, se va lega la pămînt fie punctul neutru al sursei de alimentare, fie cel al sarcinii. În primul caz impedanța homopolară trebuie să fie mai mică decît de trei ori valoarea impedanței circuitului de alimentare.

8.8.3. Verificarea capacității de rupere a sarcinii de buclă

Se va executa seria nr. 2 de încercări, care cuprinde 20 de 1 eschideri la 100% din puterea de rupere nominală. Se poate introduce și operația de închidere a circuitului tot cu aparatul încercat, eventual cu un anumit timp minim între două manevre.

În cazul încercării monofazate a unui aparat trifazat $K = 0{,}37$.

Circuitul de încercare trebuie să aibă un factor de putere care să nu depășească 0,3 și dacă se utilizează și rezistențe, acestea se vor monta în serie cu inductivitățile. Legarea la pămînt a circuitului se face la una din bornele aparatului și anume aceea care are constructiv o izolație mai mare față de masă.

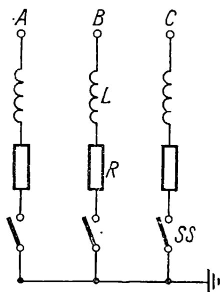


Fig. 8.57. Circuit pentru încercări în regim trifazat de comutație a sarcinii de buclă: L — inductivitate de sarcină; R — rezistență de sarcină; SS — aparatul de încercat.

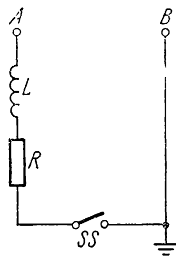


Fig. 8.58. Circuit pentru încercări monofazate de comutație a sarcinii de buclă: L—inductivitate de sarcină; R — rezistență de sarcină; SS — aparatul de încercat.

Seria de încercări nr. 3 pentru deconectarea transformatoarelor în gol este mai puțin conturată și se execută în prezent conform precizărilor date în specificația tehnică a fiecărui aparat.

8.8.4. Verificarea capacității de rupere a bateriilor unice de condensatoare

Seria de încercări nr. 4 după felul circuitului de alimentare, cuprinde:

4a) manevre de închidere-deschidere la 20% ... 40% din puterea de rupere nominală, cu circuitul de alimentare 1;

4b) manevre de închidere-deschidere la 100% ... 110% din puterea de rupere nominală, cu circuitul de alimentare nr. 1.

4c) manevre de închidere-deschidere la 20% ... 40% din puterea de rupere nominală, cu circuitul de alimentare nr. 2;

4d) Manevre de închidere-deschidere la 100% ... 110% din puterea de rupere nominală, cu circuitul de alimentare 2.

Pentru încercări trifazate, fiecare serie cuprinde 10 manevre. Pentru încercări monofazate în fiecare serie se execută fie 12 manevre — la care momentul separării contactelor se decalează cu cîte 30 grade electrice la fiecare manevră, fie cîte 30 manevre pe serie, fără alte condiții.

La încercări, separatorul se montează între circuitul de alimentare și bateria de condensatoare.

Circuitul de alimentare *1* are o asemenea impedanță încît componenta simetrică a curentului său de scurtcircuit să nu depășească 10% din valoarea curentului de scurtă durată admisibil nominal al aparatului de încercat.

În cazul circuitului de alimentare *2*, impedanța sa trebuie să fie mică, însă componenta simetrică a curentului său de scurtcircuit să nu depășească valoarea curentului de scurtă durată admisibil nominal al aparatului de încercat.

La conectare, bateria de condensatoare trebuie să fie descărcată, iar constanta de timp la descărcarea bateriei trebuie să fie astfel, încît la 10 ms după stingerea arcului, tensiunea bateriei să nu scadă cu mai mult de 10%.

Pentru încercări trifazate ale separatoarelor de sarcină universale, neutrul sursei de alimentare se leagă la pămînt, iar cel al bateriei se lasă izolat. Pentru încercarea trifazată a unor separatoare de sarcină destinate a lucra cu neutrul rețelei la masă, atît punctul neutru al circuitului de alimentare, cît și cel al bateriei se leagă la masă.

Încercarea monofazată a aparatelor trifazate se admite numai dacă aparatul nu dă reamorsări. În acest caz, coeficientul $K = 1{,}4$ pentru separatoare de sarcină universale, la care nesimultaneitatea la deschidere nu depășește 1/6 dintr-o perioadă; $K = 2$ pentru aceleași aparate, la care nesimultaneitatea este mai mare și $K = 1$ pentru separatoare de sarcină destinate să lucreze cu nulul rețelei la pămînt.

8.8.5. Verificarea capacității de rupere a liniilor în gol

Această verificare se face numai la separatoarele de sarcină de uz general care au curenți nominali de funcționare continuă mai mari de 200 A. Încercările se pot efectua fie în laborator fie în rețea. Este totuși de preferat ultima

soluţie, condiţiile de încercare în laborator nefiind încă normate. Seria de încercări numărul 5 cuprinde:

5 a) manevre de închidere-deschidere la 20% ... 40% din puterea de rupere nominală;

5 b) manevre de închidere-deschidere la 100% ... 110% din puterea de rupere nominală.

Pentru încercările în trifazat fiecare serie va cuprinde 10 manevre. Pentru încercările în monofazat se vor executa în fiecare serie fie cîte 12 manevre, fie cîte 30 manevre în aceleaşi condiţii ca la § 8.8.4.

Circuitul de alimentare trebuie să aibă o astfel de impedanţă încît componenta simetrică a curentului său de scurtcircuit să fie cuprinsă între 5% şi 100% din valoarea curentului de scurtă durată admisibil nominal. Linia aeriană care constituie sarcina, trebuie să fie astfel, încît căderea de tensiune să nu depăşească 10% la 10 ms de la stingerea arcului.

Circuitul de alimentare trebuie să aibă neutrul legat sau nelegat la pămînt, după cum se încearcă separatoare destinate a lucra în reţele cu neutrul legat la pămînt sau cu neutrul izolat.

În cazul încercărilor în monofazat a unui aparat trifazat se utilizează un circuit trifazat, conductoarele celorlalte două faze ale liniei rămînînd racordate a circuitul de alimentare.

8.8.6. Verificarea capacităţii de rupere a cablurilor în gol

Această verificare se execută numai la separatoarele de sarcină de uz general, ce au curentul nominal la funcţionare continuă egal sau mai mare de 200 A.

Seria de încercări numărul 6 cuprinde două părţi şi anume:

6 a) manevre de închidere-deschidere la 20% ... 40% din puterea de rupere nominală;

6 b) manevre de închidere-deschidere la 100% ... 110% din puterea de rupere nominală.

Pentru încercările în trifazat, fiecare serie va cuprinde 10 manevre. Pentru încercările în monofazat se vor executa fie cîte 12 manevre la fiecare serie, fie cîte 30 manevre, în aceleaşi condiţii ca în § 8.8.4.

Circuitul de alimentare trebuie să fie acelaşi ca cel impus la seria 1.a de încercări. Circuitul de sarcină capacitivă, ce este deconectat, poate fi format din cabluri sau baterie de condensatoare.

Pentru separatoarele de sarcină cu tensiuni nominale egale sau mai mici de 24 kV, se admit numai încercări trifazate. În acest caz, dacă se utilizează ca sarcină condensatoare, acestea trebuie să fie grupate în două baterii conectate în paralel, de valori aproximativ egale, din care cel puţin una va fi conectată în stea cu nulul legat la pămînt.

Încercări monofazate pentru aparatele trifazate se admit numai pentru cele destinate să lucreze cu nulul legat la pămînt, cu tensiuni mai mari de 24 kV. Valoarea coeficientului $K = 1$.

Neutrul circuitului de alimentare se leagă sau nu la pămînt, după cum se execută încercări pentru separatoare destinate a lucra în rețea cu nulul legat la pămînt sau izolat. În cazurile cînd ca sarcină se utilizează cabluri. ecranele acestora se leagă totdeauna la pămînt.

8.8.7. Verificarea capacității de închidere pe scurtcircuit

Aceasta se efectuează în seria numărul 7 de încercări care cuprinde două operații de închidere la 100% din puterea nominală, cu un timp de 3 min între ele. La una din cele două încercări trebuie să se obțină curentul corespunzător la 100% din puterea nominală, la cealaltă admițîndu-se și o valoare mai mică, dar nu sub 90%.

8.9. Particularități privind încercarea contactoarelor de înaltă tensiune

Contactoarele de înaltă tensiune sînt aparate capabile de a închide, suporta și întrerupe curenți în condiții normale ale circuitului, inclusiv condițiile de suprasarcină, în unul sau mai multe circuite electrice, cu ajutorul unor contacte separabile, avînd o singură poziție de repaos.

Contactoarele sînt destinate în general unei funcționări frecvente, cu un mare număr de manevre. Ele pot fi capabile să închidă sau chiar să și deschidă curenții de scurtcircuit.

Publicația CEI 470 precizează patru categorii de contactoare după utilizare, (tabelul 8.5) caracterizate prin valorile curenților, tensiunilor, factorului de putere și altor condiții de încercare ale capacității de închidere și deschidere nominale.

Tabelul 8.5

Categoria	Aplicații caracteristice
AC-1	Sarcini neinductive sau slab inductive, cuptoare cu rezistență
AC-2	Pornirea și inversarea sensului de mers la motoare cu inele
AC-3	Pornirea și deconectarea motoarelor lansate la motoare cu rotor în colivie
AC-4	Pornirea și inversarea sensului de mers și funcționarea prin șocuri la motoare cu rotor în colivie

Observații. 1. Prin inversarea sensului de mers se înțelege oprirea sau inversarea rapidă a sensului de rotație al motorului, prin permutarea conexiunilor de alimentare ale motorului în timpul cît acesta se rotește.

2. Funcționarea prin șocuri este o comandă caracterizată prin închideri scurte și frecvente ale circuitului motorului, în scopul obținerii unor mici deplasări ale organului antrenat.

Încercările care se execută asupra acestor aparate sînt:

— verificarea calităţilor dielectrice;

— verificarea limitelor de încălzire ale circuitelor principale şi ale echipamentului auxiliar;

— verificarea capacităţii de închidere şi deschidere nominale;

— verificarea comportării la trecerea curentului de scurtă durată admisibil şi a valorii de vîrf a curentului admisibil;

— verificarea limitelor de funcţionare şi a caracteristicilor cinematice;

— verificarea rezistenţei la uzură mecanică;

— verificarea capacităţii de a suporta curenţi de suprasarcină;

— verificarea rezistenţei la uzură electrică a pieselor de contact şi a camerelor de stingere.

La încercările de lot, pe fiecare aparat se execută numai:

— verificarea funcţionabilităţii mecanice şi determinarea caracteristicilor cinematice;

— verificarea rigidităţii dielectrice, cu tensiune aplicată de frecvenţă industrială.

Anumite particularităţi, faţă de metodele generale, prezintă verificarea capacităţii de închidere şi deschidere nominale şi a uzurii electrice.

În cadrul verificării capacităţii de închidere şi deschidere nominale condiţiile de încercare sînt cuprinse în tabelul 8.6 şi nu se urmăreşte uzura contactelor.

Tabelul 8.6

Categoria contactorului	Închidere			Deschidere					
				Curent minimal de rupere nominală			Puterea de rupere nominală maximă		
	I/I_e	U/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ
AC-1	1,5	1,1	0,95	0,2	1,1	0,95	1,5	1,1	0,95
AC-2	4	1,1	0,65	0,2	1,1	0,65	4	1,1	0,65
AC-3	8	1,1	0,35	0,2	1,1	0,15	8	1,1	0,35
AC-4	10	1,1	0,35	0,2	1,1	0,15	8	1,1	0,35

Observaţii: 1. Semnificaţia simbolurilor utilizate este următoarea:
I_e — curentul nominal de utilizare;
U_e — tensiunea nominală de utilizare;
I — curentul închis;
U — tensiunea înaintea închiderii;
U_r — tensiunea de restabilire;
I_c — curentul deschis (rupt).
2. Condiţiile la închidere sînt exprimate în valori efective .
3. Toleranţa pentru cos φ este de ± 0,05.
4. În cursul reaccelerărilor sau frînării prin inversare, trebuie notat că în momentul închiderii, tensiunea şi curentul pot fi duble.

Verificarea capacităţilor de închidere şi deschidere se efectueaza separat. Pentru contactoarele trifazate aceste încercări se efectuează în circuite trifazate. Acesta este constituit din sursa de alimentare şi circuitul de sarcină, impe-

danța circuitului de alimentare nu trebuie să depășească 10% din impedanța totală a circuitului de încercare.

Circuitul de sarcină, racordat la partea „utilizare" a contactorului, va fi format din inductanțe fără miez de fier, înseriate cu rezistențe. Inductanța totală se va obține prin înserierea inductanțelor elementare. Cuplajul în paralel a acestor inductanțe este permis numai în cazul că acestea au practic aceleași constante de timp.

Contactorul încercat trebuie să fie complet montat așa cum urmează să fie utilizat în exploatare.

Toate părțile care sînt racordate la pămînt în exploatare, vor fi legate la punctul neutru al sursei sau la un neutru artificial, practic inductiv, prin intermediul unei siguranțe fuzibile și eventual al unei rezistențe, astfel încît curentul prezumat de defect în acest circuit să fie în jur de 100 A.

Pentru contactoarele din categoriile AC-1 și AC-2 se vor executa 20 de manevre de închidere, iar pentru categoriile AC-3 și AC-4 cîte 100.

Jumătate din numărul de manevre de închidere se execută alimentînd dispozitivul de acționare la 85% din valoarea nominală, iar cealaltă jumătate cu o alimentare de 110%.

Timpul între două manevre va fi între 10 și 30 s, funcție de numărul total de manevre pe care este capabil să-l suporte contactul într-o oră (clasa de serviciu intermitent).

Durata trecerii curentului de încercare nu trebuie să fie mai mică de 50 ms.

Pentru toate tipurile de contactoare, verificarea capacității de deschidere nominale se face executînd cîte un număr de 25 deschideri ale curentului minimal și maximal (din tabelul 8.6). Durata trecerii curentului nu trebuie să depășească 0,5 s, timpul între două deschideri fiind cuprins între 30 s și 10 s, funcție de clasa de serviciu intermitent.

În timpul încercărilor nu trebuie să se producă arc permanent, amorsaj între poli, arderea siguranței fuzibile din circuitul de legare la pămînt sau sudarea contactelor.

Verificarea rezistenței la uzură electrică este considerată ca o încercare specială, adică trebuie să facă subiectul unui acord între constructor și beneficiar. Totuși, numărul de manevre trebuie să fie suficient de mare pentru a putea trasa o curbă a uzurii contactelor și camerelor de stingere, iar valorile curenților și tensiunilor nu trebuie să fie inferioare celor din tabelul 8.7.

Tabelul 8.7

Categoria contactorului	Închidere			Deschidere		
	I/I_e	U/U_e	cos φ	I_c/I_e	U_r/U_e	cos φ
AC-1	1	1	0,95	1	1	0,95
AC-2	2,5	1	0,65	2,5	1	0,65
AC-3	6	1	0,35	1	0,17	0,35
AC-4	8	1	0,35	6	1	0,35

Notă. Notațiile au aceeași semnificație ca în tabelul 8.6. De asemenea observațiile de la tabelul 8.6 rămîn valabile.

După aceste încercări, contactorul trebuie să fie capabil să suporte o încercare cu cel mult 1,5 ori tensiunea de utilizare, și să funcționeze mecanic corect.

Verificarea capacității de comutație a sarcinilor capacitive se execută după. indicațiile producătorului, făcînd obiectul unei înțelegeri între acesta și beneficiar.

8.10. Baza experimentală folosită la verificarea capacității de comutație și a stabilității termice și dinamice, la întreprinderea constructoare

Această bază este formată fie dintr-o stație de încercări în rețea, fie dintr-un laborator de mare putere dotat cu generatoare de scurtcircuit.

Sarcinile complexe ce revin unui laborator de mare putere impun dotarea lui cu o serie de aparate și utilaje speciale ca: generatoare sincrone de scurtcircuit, transformatoare ridicătoare sau coborîtoare de scurtcircuit, întreruptoare de protecție, contactoare sincrone, aparatură pentru programare automată a comenzilor, aparatură pentru măsurare, înregistrare și protecție etc.

Utilajele de bază sînt supuse unui regim dur de exploatare cu caracter permanent, însoțit de solicitări termice și dinamice mari. Se impune totodată o siguranță mare în exploatare și precizie ridicată în măsurarea și înregistrarea fenomenelor studiate. Avînd în vedere aceste aspecte, alegerea utilajelor, aparatelor și tehnologiei pentru un laborator de mare putere impune atenție deosebită și criterii diferite de cele folosite la alegerea acestor echipamente pentru regimul normal de lucru.

În continuare se prezintă pe scurt laboratorul de mare putere al Institutului de Cercetări și Proiectări Electroputere Craiova (ICPEP).

Schema de principiu (fig. 8.59) este bazată pe trei generatoare de scurtcircuit cu o putere model de 100 MVA, respectiv o putere de scurtcircuit la închidere de 2 500 MVA pentru fiecare. Cele trei generatoare pot fi folosite două sau toate trei în paralel, obținîndu-se în celula de încercare, la diferite tensiuni, puterile prezentate în diagramele din fig. 8.60 și fig. 8.61.

Generatoarele sincrone de scurtcircuit (fig. 8.62) fabricație Elektrosila-Leningrad sînt tip turbo, avînd caracteristicile principale prezentate în tabelul 8.8, alături de caracteristicile altor generatoare de scurtcircuit folosite de asemenea în laboratoare de mare putere.

Transformatoarele ridicătoare de scurtcircuit construite la Electroputere, sînt unități monofazate cu o putere model de 80 MVA, tensiunea nominală 12/4 × 12,86 kV cu un nivel de izolație față de masă de 150 kV, o impedanță de scurtcircuit pe conexiunea 12/51,4 kV raportată la primar de 0,043 Ω și o stabilitate termică și dinamică ridicată.

Folosirea variată a utilajelor și obținerea unei game largi de tensiuni la puteri maxime se realizează printr-o *schemă de conexiuni* cu mari posibilități de conectare atît pe medie cît și pe înaltă tensiune (fig. 8.63).

Transformatoarele ridicătoare aferente fiecărui generator, formează un bloc de cîte trei unități care prin schema de conexiuni se pot lega în serie, paralel, trifazat și monofazat, așa cum se indică în tabelul 8.9 și tabelul 8.10.

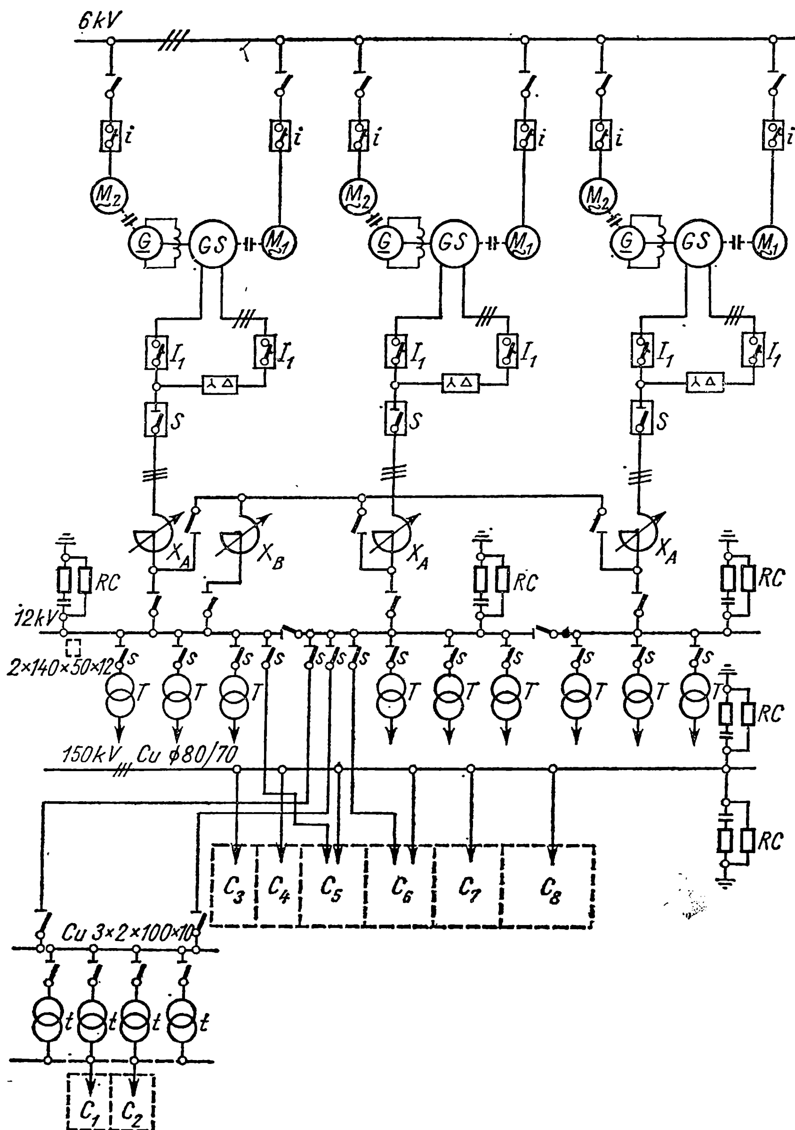


Fig. 8.59. Schema de principiu a laboratorului de mare putere a ICPEP Craiova:

i — întreruptor 6 kV; M_2 — motorul grupului de excitație; G — excitatoare; GS — generator sincron; M_1 — motorul de antrenare al generatorului sincron; I_1 — întreruptor de protecție; S — scurtcircuitor; X_A — reactanțe de curenți mari; X_B — reactanțe de curenți mici; RC — baterii de condensatoare pentru reglarea parametrilor tensiunii tranzitorii de restabilire; s — separatoare; T — transformator ridicător 12/4 × 12,86 kV; t — transformator coborîtor 10/4 × 0,125 kV; C_1 C_2 — celule pentru stabilitatea termică și dinamică; $C_3 \ldots C_8$ — celule de încercare pentru verificarea capacității de comutație.

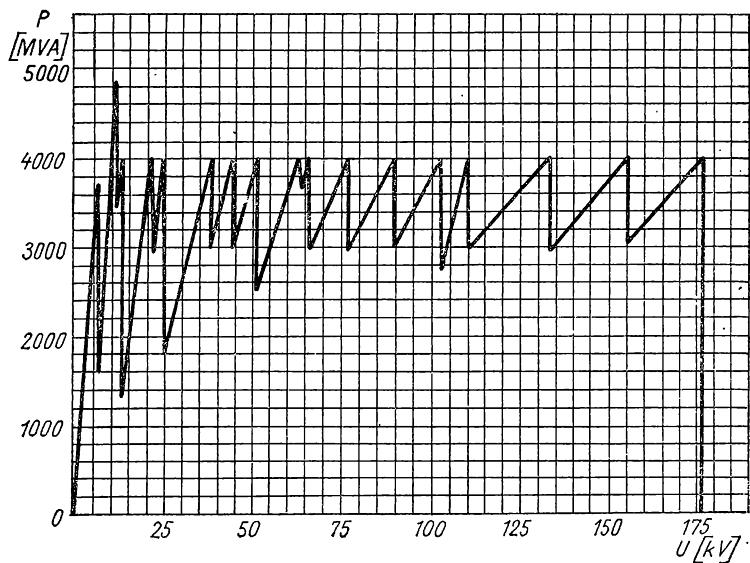


Fig. 8.60. Puterea de scurtcircuit în regim trifazat pentru diferite tensiuni, obținută în celula de încercare la 60 ms de la închidere.

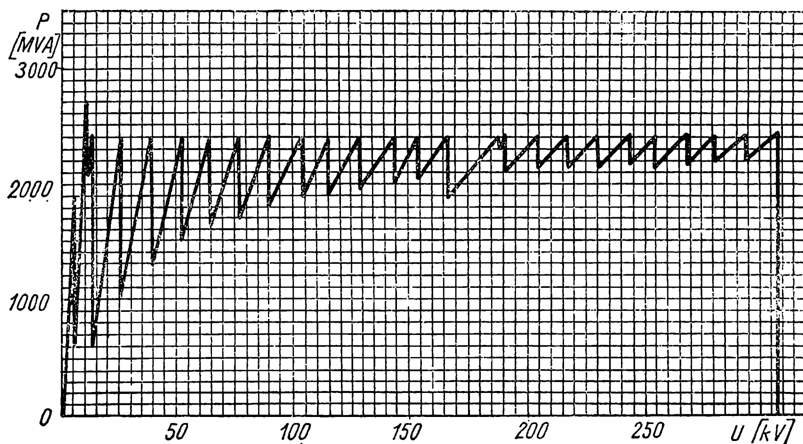


Fig. 8.61. Puterea de scurtcircuit în regim bifazat pentru diferite tensiuni obținută în celula de încercare la 60 ms de la închidere.

Tabelul 8.8

Date tehnice de bază pentru diferite construcții de generatoare sincrone de scurtcircuit

Parametru \ Producător	Elektrosila	Westing-House	Toshiba	Toshiba	Brown Boveri	ASEA	AEG	SIEMENS
Tipul constructiv	turbo	turbo	turbo	turbo	turbo	turbo	cu poli aparenți	
Turația, rot/min	3 000	3 600	1500/1800	3 000	3 000	1 500	750	750
Frecvența, Hz	50	60	50/60	50	50	50	50	50
Puterea model S_N, MVA	100	150	125/150	200	280	180	100	200(300)
Tensiunea nominală, kV	10(12)	16,5	11/13,2	11	13	13	7,8	19
Masa statorului, t Masa rotorului, t Masa totală, t	164 48 —	— — —	240 125 430,2	328 80,2 464,8	200 55 —	143 90 —	— 150 —	390 200 —
Reactanța sincronă X_d, Ω/fază	1,24	1,36	0,480/0,575	0,314	0,65	0,65	—	0,955
Reactanța tranzitorie saturată X'_d, Ω/fază	0,070	0,0780	0,0635/0,076	0,0248	0,040	0,076	—	0,0756
Reactanța supratranzitorie nesaturată X''_d, Ω/fază	0,053	—	—	—	—	0,070	0,0144	0,081
Reactanța supratranzitorie saturată X''_d, Ω/fază	0,045	0,0372	0,0400/ 0,048	0,0163	0,025	0,0527	0,0122	0,072
Puterea de scurtcircuit la borne S''_k, MVA	2 500	7 300	3000/3600	7 400	3 750	3 200	5 000	4 800
Raportul S''_k/S_N	25	48,7	24/24	37	13,4	16,66	50	24(16)

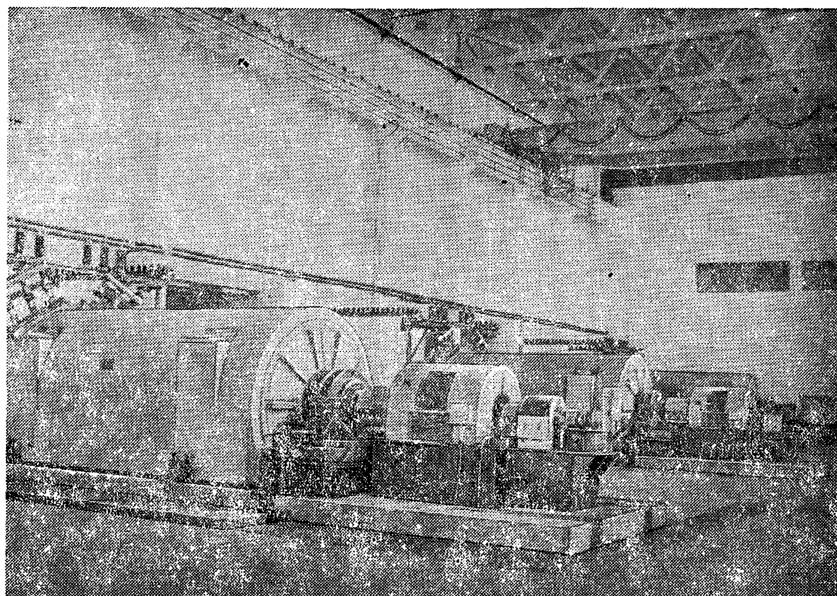


Fig. 8.62. Vedere din sala de mașini a laboratorului de mare putere de la Electroputere Craiova.

Fig. 8.63. Sistemul de bare de 12 kV (A), sistemul de bare de 150 kV (B) și schema de conexiuni pentru cele nouă transformatoare ($T_1 \dots T_9$).

Tabelul 8.9

Conexiunile transformatoarelor ridicătoare de tensiune în regim monofazat

Schema de principiu	Conexiunea realizată	Tensiunea transformatorului	Tensiunea de încercare kV		Tensiunea echivalentă în trifazat kV
			k = 1,3	k = 1,5	
		12/12,85	—	10,4	12
		12/25,7	—	15,2 20,8	17,5 24
		12/38,55	—	31,2	36
		12/51,4	— 46,2	45,1 —	52 123 (cu două elemente)
		12/102,8	92,5 —	— 86,7	123 (cu un element) 100
		12/115,65	— 109	107 —	123 145
		12/154,2	131,5	152	175

Tabelul 8.10

Conexiunile transformatoarelor ridicătoare de tensiune în regim trifazat

Schema de principiu	Conexiunea realizată	Tensiunea transformatorului	Tensiunea nominală în trifazat, kV
		12/22,2	17,5
		12/44,4	36
		12/66,6	52
		12/88,8	72,5
		12/112	110
		12/132	123

Sistemul de bare de medie tensiune — 12 kV (fig. 8.64) — este executat din aluminiu într-o construcţie specială ecranată, avînd reactanţă foarte mică şi stabilitate la forţe electrodinamice mare.

Sistemul de bare de înaltă tensiune — 150 kV (fig. 8.65) — este executat din ţeavă de aluminiu într-o construcţie suspendată prin lanţuri de izolatoare şi consolidat cu traverse izolante între bare pentru a rezista la forţele electrodinamice care apar la scurtcircuit.

Pentru realizarea curenţilor foarte mari necesari la încercări de stabilitate termică şi dinamică se utilizează *transformatoare coborîtoare de scurtcircuit*, monofazate, avînd o putere model de 10 MVA, tensiuni nominale $10/4 \times 0{,}125$ kV, obţinînd în secundar 20,40 şi 80 kA corespunzător tensiunilor de 500 V, 250 V şi 125 V. Avînd în vedere dotarea laboratorului pentru asemenea unităţi se pot obţine prin conectarea lor în paralel curenţi pînă la 320 kA la 500 V, respectiv 640 kA la 250 V. Trei unităţi se pot de asemenea conecta în trifazat realizînd de exemplu curenţi de 275 kA la tensiunea de 250V.

Întreruptoarele de protecţie şi *scurcircuitoarele* (contactoarele sincrone) au fost alese astfel încît să se asigure puterea de rupere maximă respectiv ca-

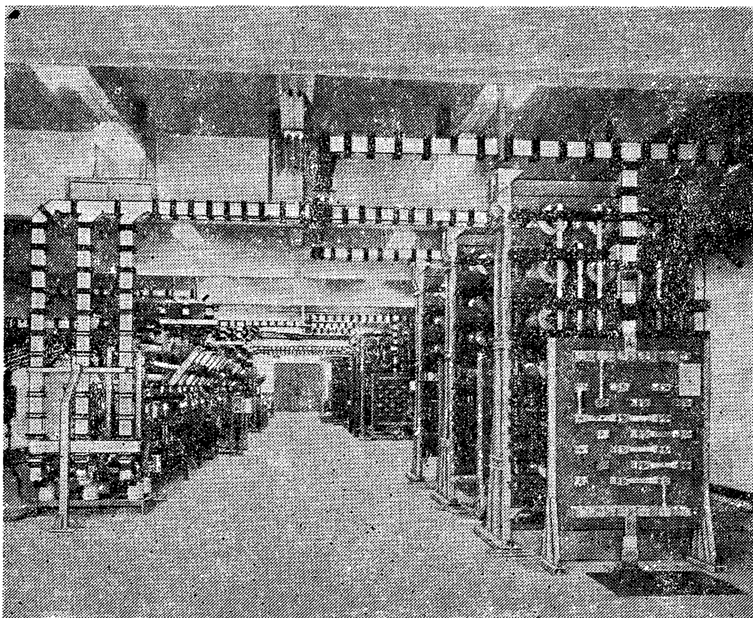


Fig. 8.64. Vedere de ansamblu a barelor și a sistemului de comutare la medie tensiune (12 kV).

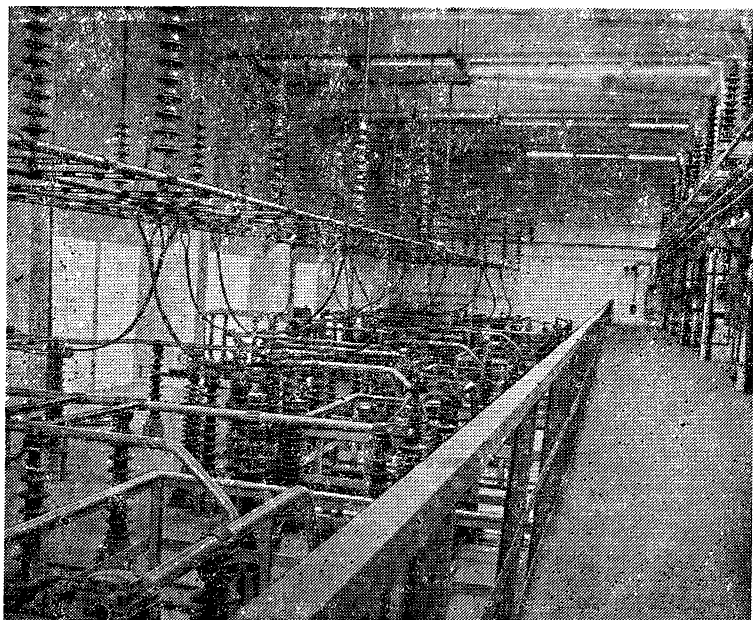
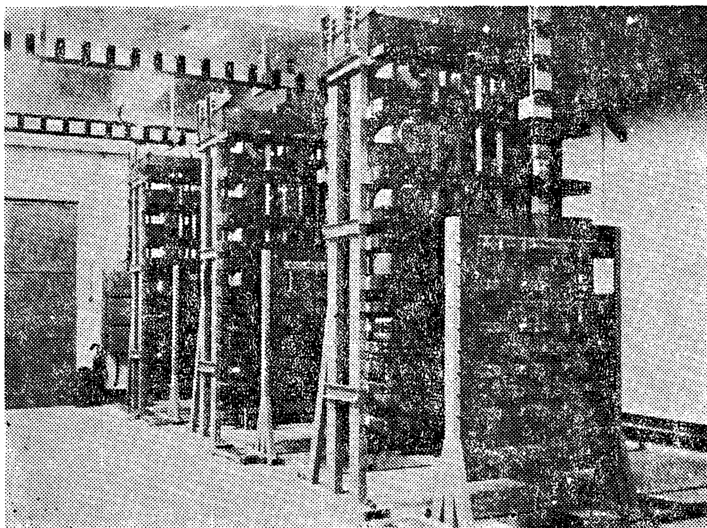
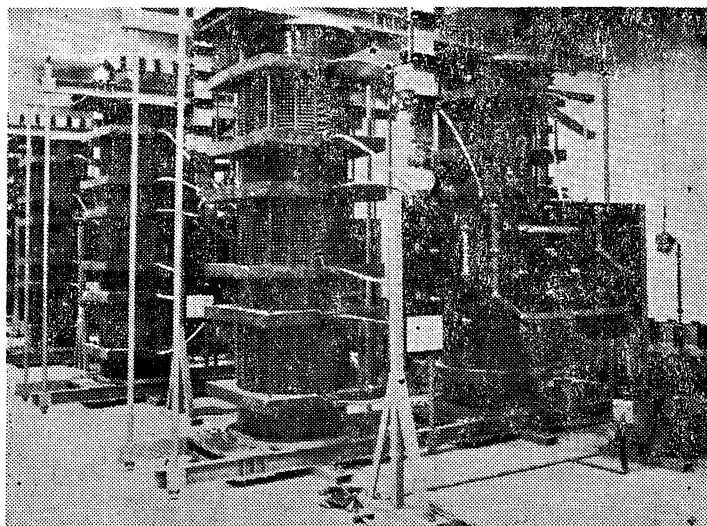


Fig. 8.65. Vedere de ansamblu a barelor și a sistemului de comutare la înaltă tensiune (150 kV).

pacitatea de închidere, precum şi stabilitatea termică şi dinamică în scurtcircuit, corespunzător puterii generatorului. Reglarea curenţilor de scurtcircuit se realizează cu ajutorul unor bobine de reactanţă de construcţie specială (fig. 8.66) realizate în două variante pentru curenţi mici şi curenţi mari, în mod corelat cu valorile prevăzute la diferitele cicluri de încercare şi anume, de la curenţi critici pînă la capacitatea nominală de rupere.



a



b

Fig. 8.66. Vedere de ansamblu a bobinelor de reactanţă:
a — pentru curenţi mari; *b* — pentru curenţi mici.

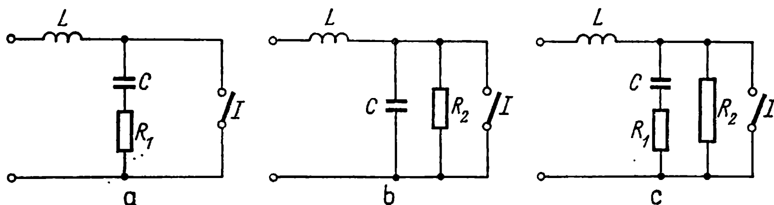


Fig. 8.67. Scheme pentru conectarea bateriei de condensatoare C și a rezistențelor R_1, R_2 în circuitul de reglare a tensiunii tranzitorii de restabilire realizînd: *a* — circuit serie; *b* — circuit paralel; *c* — circuit mixt.

Circuitul pentru reglarea tensiunii tranzitorii de restabilire este format dintr-o baterie de 648 condensatoare totalizînd 5184 μF la 10,5 kV și un set de rezistențe ohmice a căror conectare la bornele întreruptorului încercat *I* în diferite scheme (fig. 8.67) permite reglarea parametrilor tensiunii tranzitorii de restabilire cu dificultățile inerente care apar la secvențele de 10%, eventual 30%, unde capacitatea și inductivitatea proprie a circuitului principal nu permite întotdeauna realizarea unor frecvențe proprii, respectiv viteze de creștere a TTR suficient de mari.

Comanda manevrelor pe bază de program automat, măsurarea și înregistrarea mărimilor ce caracterizează fenomenele, se face cu aparatură adecvată prin circuite care asigură o bună deparazitare față de cîmpurile electrice și îndeosebi magnetice de valori mari, prezente în instalație pe timpul probelor (fig. 8.68).

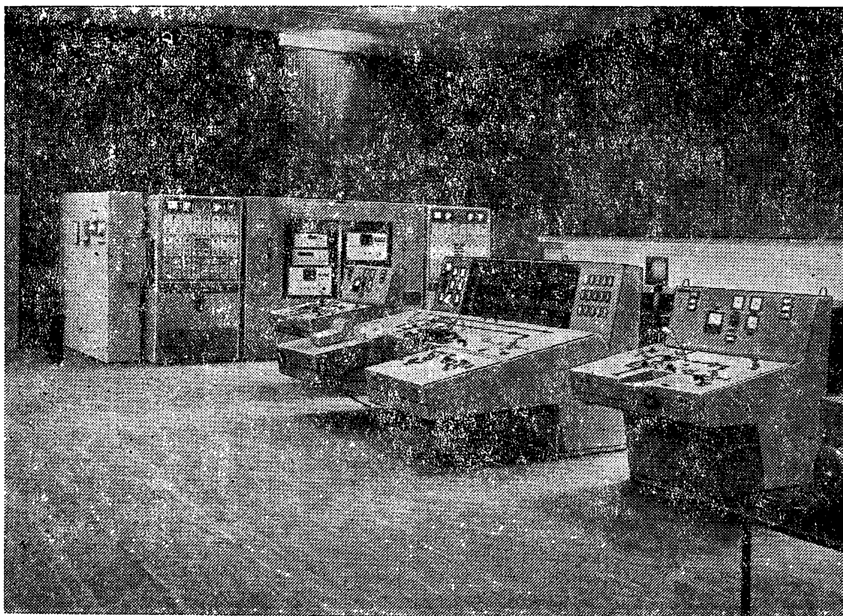


Fig. 8.68. Camera principală de comandă și măsură a unui laborator de mare putere

8.11. Metode și scheme pentru verificarea capacității de comutație, a aparatelor de înaltă tensiune în condițiile sistemului electroenergetic

Capacitatea de comutație a aparatelor electrice de înaltă tensiune se verifică fie în laboratoare de mare putere echipate cu mașini rotative (ca cel de la Electroputere-Craiova), fie în condițiile sistemului electroenergetic [75, 76 și 77], într-un nod convenabil al sistemului (ca de exemplu stația de mare putere a ICEMENERG).

Investigațiile în sistemul electroenergetic completează probele executate la constructorul echipamentului de înaltă tensiune cu o serie de încercări care nu se pot efectua sau nu este cazul să se efectueze la producător.

● Astfel, recomandările CEI și standardele naționale prevăd *încercarea întreruptoarelor: la deconectarea unor curenți pur capacitivi* de ordinul zecilor și sutelor de amperi, în regimul comutării liniilor de lungimi diferite în gol. Condiții similare se pun chiar la separatoare care trebuie să conecteze și să deconecteze porțiuni de LEA (10 km pînă la 35 kV) și LES (5 km pînă la 10 kV). Un laborator de mașini nu poate să execute astfel de încercări în condiții reale de funcționare a aparatelor.

Modelarea liniilor cu o baterie de condensatoare, la un laborator de mașini, ar reprezenta o suplimentare costisitoare a investiției (de exemplu ar fi necesară o baterie de condensatoare de circa 100 Mvar la 220 kV), fără să existe certitudinea reproducerii absolut fidele a condițiilor naturale din exploatare. Într-o stație din rețea, curenții capacitivi se reglează prin scheme de conexiuni corespunzătoare ale sistemului în punctul respectiv.

● Aceleași recomandări CEI sau standarde naționale prevăd și *încercarea aparatelor de comutație în regim de deconectare a transformatoarelor în gol.* Condiția aceasta nu se referă numai la întreruptoare. Astfel, în exploatarea sistemului electroenergetic, chiar și separatoarele trebuie să fie capabile să conecteze sau să deconecteze transformatoarele în gol, avînd puterile nominale de 320, 560, 1000, 7200 kVA la 10, 20, 35 respectiv 110 kV.

Această încercare are ca scop verificarea capacității de comutație a aparatajului la deconectarea unor curenți mici (de ordinul zecilor și sutelor de amperi) pur inductivi. Laboratorul de mașini, de regulă, nu este prevăzut pentru astfel de încercări și investiția suplimentară pentru echiparea lui ar reprezenta cheltuieli complementare și greutăți considerabile în găsirea spațiului necesar și a celei mai potrivite scheme de conexiuni. În sistemul electroenergetic acești curenți se pot obține prin schema corespunzătoare de conexiuni a stațiilor de distribuție și transformare, unde se execută încercarea.

● *Încercarea aparatelor de comutație în regimul defectului kilometric* se poate executa, pe un model de linie de 1 ... 15 km, și în laboratorul de mașini, prin realizarea unui lanț de cuadripoli care să simuleze diferitele tipuri de linii, de tensiuni nominale variate. Aceste instalații însă lipsesc de regulă din dotarea laboratoarelor de mașini și chiar dacă această dotare s-ar suplimenta, rămîne incertitudinea imitării corecte a condițiilor din exploatare în ceea ce privește „duritatea“ schemei de comutație.

În condițiile sistemului electroenergetic aceste încercări se pot executa făcînd scurtcircuite directe pe stîlpii LEA a unei plecări din stația de distribuție și de transformare în care se execută încercarea.

● *Încercarea aparatelor de comutație în regimul defectului evolutiv* — adică încercarea combinată a întreruptoarelor de deconectare a liniilor în gol (sau a transformatoarelor în gol), unde datorită supratensiunilor mari, la sfîrșitul cursei contactelor se produce și un scurtcircuit, pe care trebuie să-l lichideze aparatul investigat — este un alt exemplu concludent în această privință. Capacitatea aparatajului de comutație de a lichida un astfel de regim de avarie se poate verifica, fără cheltuieli excesive, numai într-o stație racordată direct la sistemul electroenergetic.

● Conectarea sau deconectarea a două porțiuni din sistemul electroenergetic, dintre care una se află în *discordanță de fază* față de cealaltă, reprezintă un regim greu de îndeplinit pentru aparatajul de comutație.

Verificarea aparatelor de comutație în acest regim al funcționării în discordanță de fază a sistemului și în caz extrem în regimul *opoziției de fază*, face parte din aceeași categorie de încercări care se pot executa (deși foarte greu) numai în sistemul electroenergetic.

● Laboratorul de mașini este prevăzut de regulă să încerce aparatajul de comutație pe elemente și nu pe ansamble (cu toate camerele de stingere înseriate), așa cum se montează ele de fapt în exploatare în sistemul energetic. Aceste încercări pot fi executate de asemenea numai (evident în cazuri rare) într-un nod puternic al sistemului electroenergetic.

● În laboratoarele de mașini, curentul de scurtcircuit, care se deconectează de mai multe ori (ca de exemplu în ciclul RAR dublu, nereușit), suferă o amortizarea foarte accentuată spre deosebire de sistemul electroenergetic, unde atenuarea puterii de scurtcircuit în aceste regimuri este mult mai redusă. Din acest motiv, prezintă în orice caz interes efectuarea unor astfel de încercări în sistem.

8.11.1. Schema circuitelor primare utilizate la încercări în sistemul electroenergetic

Pentru verificarea capacității de comutație a întreruptorului, se alege o stație de distribuție și transformare potrivită, avînd puteri de scurtcircuit și posibilități de comutare a liniilor și transformatoarelor corespunzătoare. Schemele trebuie alese astfel ca să fie exclusă avaria în sistem în caz că întreruptorul încercat I_i refuză să execute comanda sau explodează. La alegerea configurației schemei o atenție deosebită trebuie să fie acordată întreruptorului de protecție I_p, care trebuie să aibă o rezervă de putere de rupere de 30 ... 50 % față de întreruptorul de încercat. În calitate de întreruptor de protecție este cel mai indicat să se folosească întreruptorul cuplei transversale (sau longitudinale) sau, în general, un întreruptor care în timpul probelor nu este străbătut de curentul de sarcină a sistemului.

Dacă punctul de scurtcircuit se alimentează de la două surse (fig. 8.69, *d*) cu întreruptoare de protecței independente, atunci conectarea pe primul scurtcircuit este recomandabil să se facă cu întreruptorul de putere de rupere mai

mică (sau de siguranță mai îndoielnică), ca pentru lichidarea eventualei avarii să fie rezervat întreruptorul cu performanțe superioare. Pentru asigurarea lucrului mecanic de anclanșare pe scurtcircuit tensiunea operativă de comandă este bine să fie crescută cu 10 ... 15%. Stabilitatea termică și dinamică a

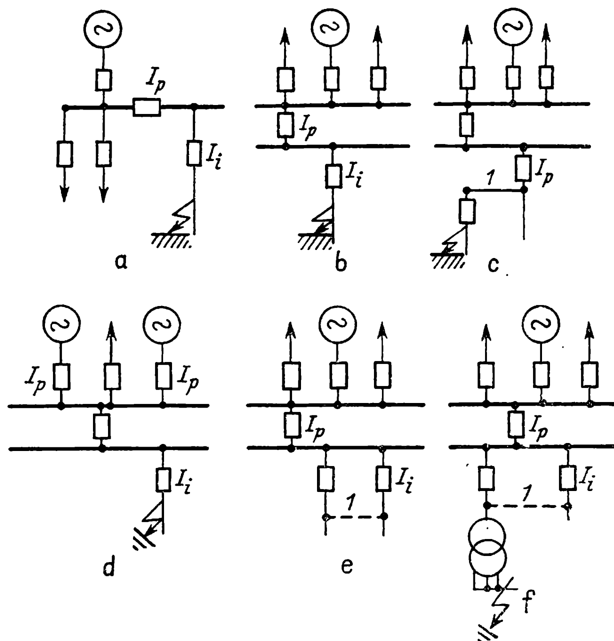


Fig. 8.69. Amplasarea reciprocă a întreruptorului de protecție I_p și a întreruptorului de încercat I_i. la încercările de scurtcircuit, în sistemul electroenergetic.

circuitului străbătut de curent, a aparatelor componente și a conductoarelor (barelor) de legătură (inclusiv al conductorului de legare la pămînt) trebuie să fie în prealabil verificată prin calcul.

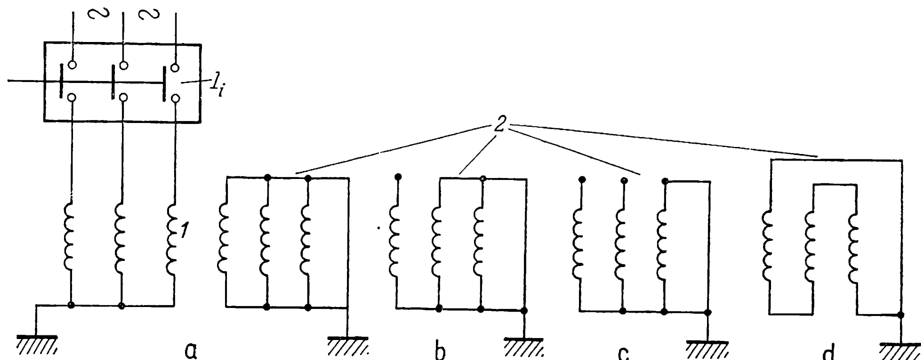


Fig. 8.70. Variantele posibile de conectare ale înfășurării secundare *2* la un transformator trifazat în vederea reglajului curentului din înfășurarea primară *1*, fără utilizarea unor bobine de reactanță speciale.

La deconectarea curenților inductivi mici și mijlocii, reglajul valorii curenților în lipsa unor bobine de reactanță potrivite se realizeză prin scheme de conexiuni corespunzătoare a transformatoarelor. În fig. 8.70, de exemplu, se dau variantele de conexiuni posibile ale înfășurării secundare ale unui transformator trifazat prin care circuitul primar, în care este conectat, întreruptorul va fi străbătut de curenți inductivi diferiți.

Schemele de încercare a capacității de comutație a întreruptoarelor în regimurile mono-, bi- și trifazate de încercare sînt date în fig. 8.71.

La încercările monofazate, dacă există posibilitatea obținerii unei tensiuni de încercare $U_{\hat{\imath}nc} = 1{,}3 \ldots 1{,}5\ U_{fază}$, atunci prin aceasta se imită con-

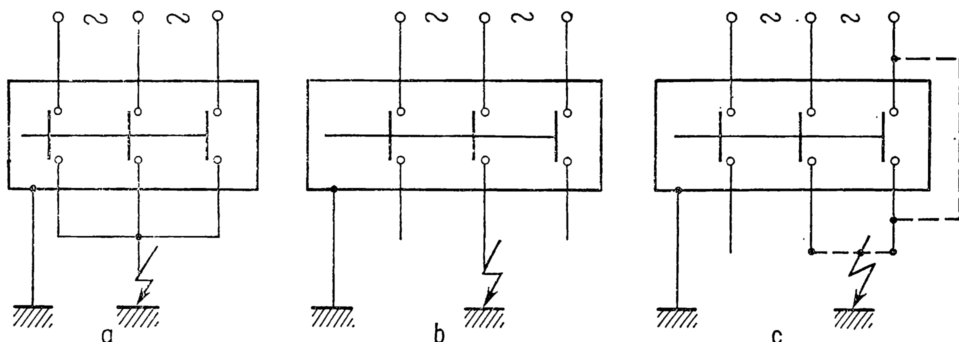


Fig. 8.71. Scheme de încercare a capacității de comutație a întreruptoarelor:

a — în regim de scurtcircuit trifazat; *b* — în regim de scurtcircuit monofazat; *c* — în regim de scurtcircuit bifazat.

dițiile cele mai grele de funcționare ale întreruptorului în sistem. Acest regim corespunde condițiilor de exploatare, unde la faza care rupe prima curentul de scurtcircuit, tensiunea de restabilire (axa oscilațiilor libere) poate să atingă valori cu 30 ... 50% mai mari decît cea normală $\left(\frac{U_{linie}}{\sqrt{3}}\right)$.

În acest caz, puterea de scurtciruit echivalentă trifazată se calculează cu U_N (și nu cu 1,3 .. 1,5 $U_{fază}$).

8.11.2. Schemele din circuitele secundare (comandă, măsurare și protecție)

La încercările de scurtcircuit în sistemul electroenergetic circuitele secundare trebuie să asigure următoarele funcții:

— măsurarea (înregistrarea) fenomenelor tranzitorii care prezintă interes pentru diagnosticarea întreruptorului (dispozitivului de stingere a arcului electric);

— pornirea oscilografelor în momentul potrivit;

— comanda și protecția întreruptorului de încercat și a celui (celor) de protecție.

Circuitele de măsurare trebuie să asigure înregistrarea următoarelor fenomene: a curentului de scurtcircuit într-una sau în mai multe faze (înregistrate de regulă în secundarul transformatoarelor de curent care sînt în amonte de întreruptor); a tensiunilor tranzitorii (de fază sau de linie); a curentului din circuitul bobinei de declanșare și a bobinei de anclanșare; a vitezei de deplasare a contactelor; a presiunii în camere de stingere sau în cuva întreruptorului etc. Aceste fenomene se înregistrează de regulă cu oscilografe magnetoelectrice sau oscilografe catodice cu baleiaj mecanic (oscilografe lente). În afară de aceasta cu un oscilograf catodic cu baleiaj electronic (oscilograf rapid) se înregistrează tensiunile tranzitorii de restabilire, așa cum se vede și din fig. 8.72.

Schema de automatizare a comenzilor trebuie să realizeze; pornirea oscilografelor magnetoelectrice cu 0,02 ... 0,03 s înaintea trimiterii impulsului de comandă în bobinele de anclanșare sau declanșare a întreruptorului de în-

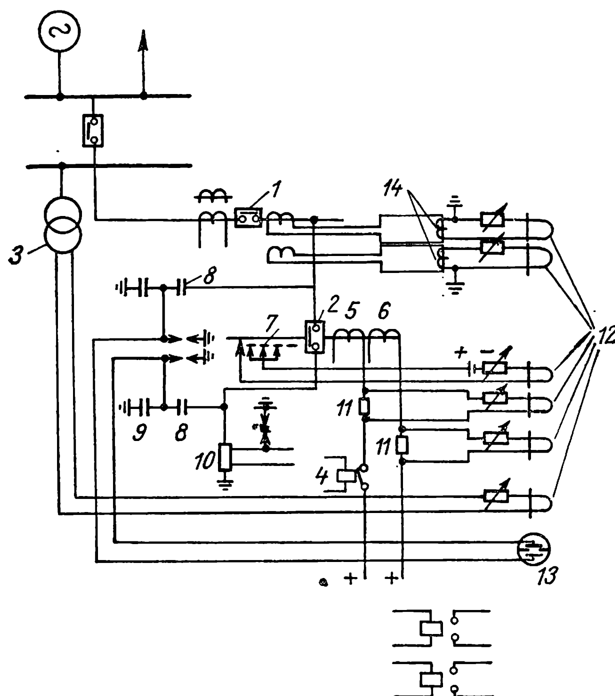


Fig. 8.72. Schema circuitelor de înregistrare a fenomenelor tranzitorii care au loc la încercarea întreruptoarelor în sistemul energetic în regimul scurtcircuitului monofazat:

1 — întreruptor de protecție; *2* — întreruptor de încercat; *3* — transformator de tensiune; *4* — releu de curent maximal; *5* — bobina de declanșare; *6* — bobina de anclanșare; *7* — traductor de cursă; *8* — condensator de telefonie; *9* — divizor capacitiv; *10* — șunt în circuitul primar; *11* — șunturi în circuite secundare; *12* — buclele oscilografului magnetoelectric; *13* — oscilograf catodic; 14 — transformatoare de curent intermediare.

cercat; pornirea oscilografului catodic cu 0,01 ... 0,015 s înaintea separării contactelor sau cu 0,005 ... 0,02 s înaintea momentului de reapariție a tensiunii tranzitorii de restabilire pe contactele întreruptorului; repornirea oscilografului magnetoelectric la sfîrșitul pauzei de curent în circuitul RAR etc.

Schema protecției prin relee trebuie să asigure: declanșarea instantanee a întreruptorului de încercat (cu temporizare nulă) după amorsarea scurtcircuitului; declanșarea întreruptorului de protecție după $t = t_{dt} + (0{,}2 \ldots 0{,}5)$ s (unde $t_{dt} = 0{,}1 \ldots 0{,}2$ s, reprezintă timpul total prezumat de declanșare a întreruptorului încercat).

Schema de automatizare a probei depinde de felul încercărilor (încercare de scurtcircuit sau încercarea de deconectare a unor curenți mici pur inductivi sau capacitivi) și de aparatele disponibile pentru comanda automată a probei. De exemplu, la deconectarea unor curenți mari, oscilografele pot fi pornite de la bloccontactele releelor maximale temporizate (fig. 8.73).

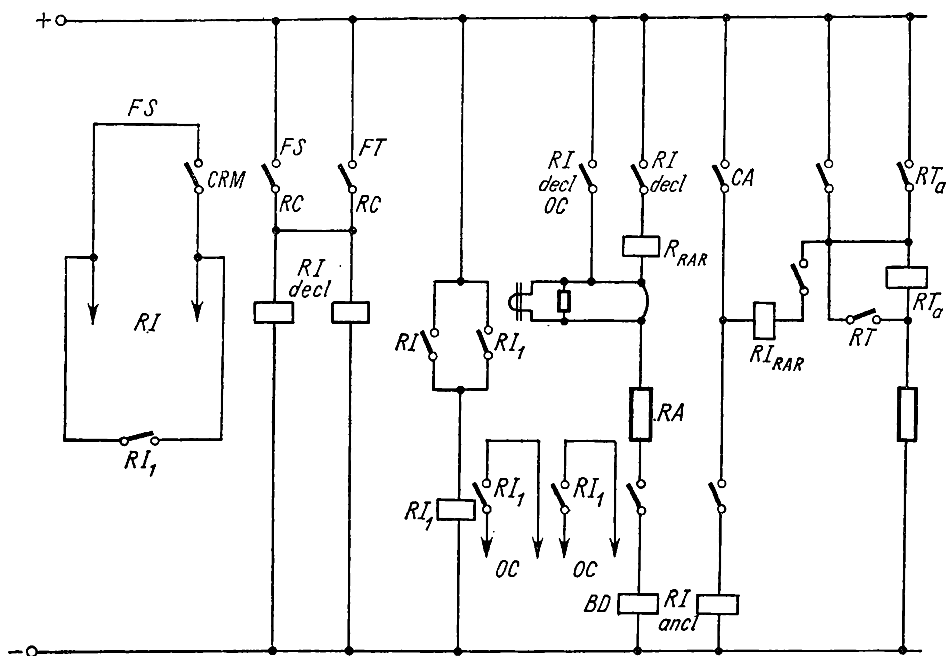


Fig. 8.73. Schema de comandă automată a probei de scurtcircuit în ciclul D—ID (ciclul RAR cu pauză 1 s) în condițiile exploatării:

RI — releu intermediar; *FS* — faza *S*; *FT* — faza *T*; *RC* — releu de curent; RI_1 — releu intermediar al *OM*; R_{RAR} — releu *RAR*; *RA* — rezistență auxiliară; RT_a — releu de tip cu contact alunecător; *BD* — bobină de declanșare; RI_{ancl} — releu intermediară în circuitul de anclanșare; RI_{decl} — idem, declanșare; RI_{RAR} — idem, RAR; *CA* — contact anclanșare.

În schimb, la deconectarea curenților de mers în gol a liniilor, pornirea oscilografelor trebuie să fie realizată nu de la relee de curent, ci de la cheia de comandă a întreruptorului de încercat sau a întreruptorului de protec-

ție. Temporizarea impulsului în bobina de anclanșare (sau declanșare), în acest caz, se realizează printr-un releu intermediar cu un timp propriu de acționare redus.

Dacă la încercări stă la dispoziție un comutator-program special, cu 5 ... 10 canale de comandă (tip tambur, tip pendul sau electronic), atunci schema de automatizare se simplifică foarte mult și proba se execută mult mai comod.

8.11.3. Eliminarea semnalelor parazite din circuitele de măsurare și de protecție

La declanșarea curenților mari de scurtcircuit și la încercări însoțite de cîmpuri electrice intense, în circuitele secundare se induc curenți și tensiuni care pot să falsifice rezultatele măsurărilor, dacă nu se iau măsuri speciale de evitare a lor.

Tensiunea electromotoare indusă de cîmpul electromagnetic din stația unde se execută încercarea poate să aibă influență mai puternică asupra: circuitului traductorului de cursă, a traductorului de presiune și asupra circuitelor secundare de curent (în special dacă valoarea curentului care circulă în aceste circuite este mică). Pentru eliminarea acestor influențe este necesar să se ia următoarele măsuri minimale:

— toate circuitele de măsurare care se racordează la întreruptor trebuie să fie amplasate perpendicular față de calea de curent primară;

— circuitele de măsurare trebuie să fie bifilare (neinductive) și amplasate în țevi de oțel, or trebuie să se utilizeze cabluri triaxiale cu ecran din sîrmă de oțel împletită sau mai bine cabluri coaxiale cu dublă ecranare;

— circuitele de măsurare nu trebuie să fie amplasate împreună și în paralel cu cablurile de forță sau alt conductor străbătut de curent continuu sau curent alternativ, nici în apropierea bobinelor de reactanță sau a altor instalații de curenți tari;

— la cablurile cu mai multe fire destinate pentru măsurare (caz, care, pe cît posibil, trebuie să fie evitat la încercările de exploatare), firele libere nu trebuie să fie folosite pentru alte scopuri (în special pentru circuite de curent continuu);

— oscilografele nu trebuie să fie amplasate în apropierea camerelor bobinelor de reactanță sau în apropierea sistemului de bare;

— circuitele pentru înregistrarea tensiunilor tranzitorii de restabilire (dar și restul circuitelor de măsură dacă este posibil) trebuie să fie realizate în mod obligatoriu din cabluri coaxiale (dublu coaxiale sau triaxiale) etc. Condițiile optime pentru astfel de încercări în sistemul electroenergetic se pot realiza în stații de încercări de mare putere (SMP) similare cu cea a ICEMENERG.

8.11.4. Ordinea de desfășurare a probelor

Încercarea se desfășoară după un program special aprobat de Dispecerul Energetic Național (DEN) și de dispecerii teritoriali. Toate operațiile în cadrul acestui program trebuie să se facă strict după prevederile RET și NTS.

Ordinea de desfăşurare a operaţiilor la probele de scurtciruit în ciclurile D şi D-ID (ciclul nominal al întreruptoarelor) este următoarea:

— se anclanşează întreruptorul de încercat;

— se conectează şi întreruptorul de protecţie;

— se închide scurtcircuitorul stabilindu-se astfel curentul de scurtcircuit;

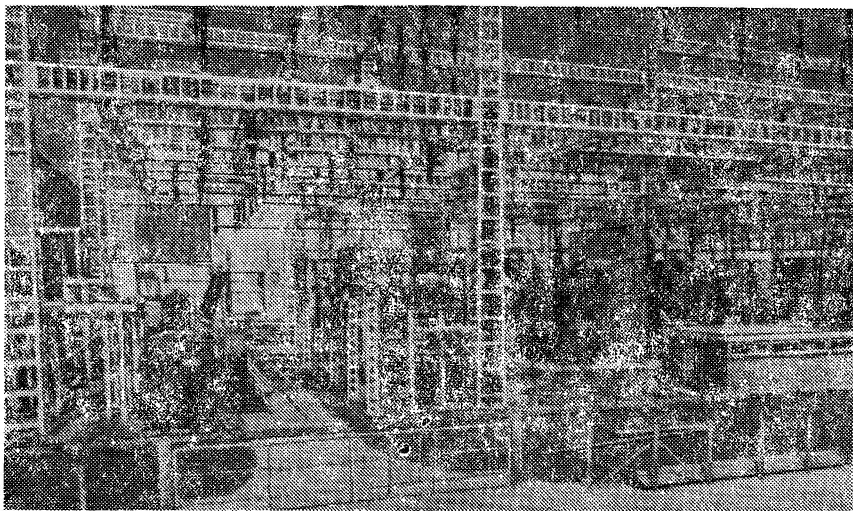


Fig. 8.74. Vedere generală a staţiei de mare putere de la Renardières.

— întreruptorul de încercat se declanşează automat, acţionat de releele de protecţie sau de un comutator-program special, care trimit impulsul de comandă în bobina de declanşare a întreruptorului examinat;

— se declanşează şi întreruptorul de protecţie acţionat de relelul propriu de protecţie (sau de comutatorul program) sau dacă aceasta nu acţionează atunci datorită impulsului de comandă primit prin bloccontactele întreruptorului de încercat;

— se separă circuitul de alimentare prin deschiderea separatorului şi se leagă la pămînt circuitul întreruptorului încercat;

— se face examinarea vizuală a întreruptorului;

— se recoltează 2 ... 3 probe de ulei;

— se măsoară rezistenţa ohmică pe fază;

— se deschide întreruptorul şi se extrage camera de stingere (după evacuarea completă a gazelor şi a vaporilor de apă);

— se fotografiază starea contactelor;

— se prelucrează şi se interpretează oscilogramele.

Pe oscilograme se analizează durata arcului, mărimea şi forma supratensiunilor (tensiunii de restabilire), valoarea curenţilor de scurtcircuit, ponderea componentei aperiodice, viteza contactelor, prezenţa sau absenţa reamorsării sau reaprinderii arcului electric etc.

După executarea tuturor probelor conţinute în programul iniţial, se consideră că dispozitivul de stingere a arcului a corespuns la încercări dacă nu prezintă defecţiuni grave şi dacă înlocuind contactele de rupere şi uleiul este apt să funcţioneze mai departe în sistem.

9. Descărcătoare

9.1. Nomenclatura probelor

La fabrica constructoare și în condițiile exploatării, descărcătoarele cu rezistențe neliniare, descărcătoarele cu expulsie (tubulare) și descărcătoarele cu coarne sînt supuse la încercările specificate în tabelul 9.1 [87 ... 94].

Documentul de bază care reglementează condițiile, metodele și schemele de încercare a apărut în anul 1970 sub îngrijirea Comitetului Electrotehnic Internațional (Publicația 99), care conține majoritatea încercărilor specificate în tabel.

Complexitatea încercărilor este cea mai pronunțată la descărcătoarele cu rezistență variabilă. Încercările la care trebuie să fie supuse aceste aparate cuprind și încercările descărcătoarelor cu expulsie și cu coarne. Procedura de efectuare a probelor, corespunzătoare la cele trei tipuri de descărcătoare, se deosebește prea puțin, exigențe speciale față de condițiile de încercare punîndu-se numai la descărcătoarele cu rezistențe neliniare. Avînd în vedere și faptul că pentru sistemul electroenergetic al României importanța descărcătoarelor cu expulsie și cu coarne este neglijabilă (coordonarea izolației în stații se bazează pe nivelul unic de protecție al descărcătoarelor cu rezistență variabilă), în cele ce urmează se descriu numai încercările, la care se supune acest mijloc de protecție a stațiilor electrice (a aparatelor din stații) contra supratensiunilor atmosferice și de comutație (tipuri speciale).

La întreprinderea *constructoare* descărcătoarele cu rezistență variabilă se supun, de regulă la încercările individuale specificate la punctele 5, 6, 11, 15 și 21 din tabelul 9.1. La încercările de lot sau de recepție se controlează în primul rînd capacitatea de descărcare (punctele 16 și 17) a rezistoarelor cu rezistențe variabile (discuri), tensiunile de amorsare (punctele 5, 6, 7 și 8) și rezistența mecanică a anvelopei (punctul 20). În cadrul probelor de tip se

Tabelul 9.1

ÎNCERCĂRILE DESCĂRCĂTOARELOR
(normalizate sau în curs de normalizare)

Nr. crt.	Denumirea încercării	Tipul încercării					
		I	L	T	PF	P	S
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Verificarea tensiunii de ţinere de frecvenţă industrială a izolaţiei externe în stare uscată sau sub ploaie	—	—	×	—	—	×
2	Verificarea tensiunii de ţinere de impuls la undă plină (STA)	—	—	×	—	—	×
3	Idem, la undă tăiată	—	—	—	—	—	×
4	Idem, la unde de supratensiune de comutaţie (STC)	—	—	—	—	—	×
5	Determinarea tensiunii de amorsare la frecvenţă industrială	×	×	×	×	×	—
6	Determinarea tensiunii de amorsare la impuls convenţional (STA) pe spatele undei	(×)	×	×	×	×	×
7	Idem, pe frontul undei convenţionale	—	×	×	—	—	—

execută toate încercările menţionate şi în plus se ridică caracteristicile tensiune-timp, tensiune-curent şi funcţionarea descărcătorului se verifică în schema reală de solicitare (la impuls de curent şi la curent de însoţire suprapuse) din exploatare. Evident că aceleaşi încercări în cadrul probelor individuale se execută după un program mult mai redus decît în cadrul probelor de tip.

În cadrul probelor de punere în funcţiune şi profilactice se verifică de regulă tensiunile de amorsare a descărcătoarelor (punctele 5 şi 6) şi curentul de conducţie şi/sau de fugă (punctul 11) conform celor impuse de prescripţiile tehnice ale exploatării (PE-116).

9.2. Condiţii generale de încercare a descărcătoarelor

Dacă nu se specifică altfel (în contractul de furnitură, în norma internă departamentală etc.), atunci încercările de fabrică (de tip, individuale sau de lot) trebuie să fie efectuate pe descărcătoare complet montate sau pe eşantioane de descărcător (fracţiuni, elemente) complet noi, curate, montate ca în condiţiile exploatării (respectînd distanţele faţă de masă, montînd inelele

Tabelul 9.1 (continuare)

0	1	2	3	4	5	6	7
8	Idem, la unde de supratensiune de comutație (STC)	—	×	×	—	—	×
9	Ridicarea caracteristicii tensiune — timp la impuls convențional (STA)	—	—	×	—	—	×
10	Idem, la unde de supratensiuni de comutație (STC)	—	(×)	(×)	—	—	× —
11	Măsurarea curentului de conducție și/sau de fugă	×	×	×	×	×	×
12	Determinarea tensiunii de conturnare la frecvență industrială	—	—	(×)	—	—	×
13	Idem, la impuls convențional (STA)	—	—	(×)	—	—	×
14	Idem, la impuls cu unde de supratensiune de comutație (STC)	×	—	(×)	—	—	×
15	Verificarea tensiunii reziduale la curent nominal de descărcare și/sau ridicarea caracteristicii tensiune-curent	(×)	(×)	×	—	—	×
16	Verificarea capacității de descărcare la impuls de curent de scurtă durată (4/10μs) și de mare amplitudine	—	(×)	×	—	—	×

de gardă etc.). Instalația de încercare trebuie să satisfacă condițiile impuse în STAS 6669-69 (Încercarea echipamentului electric de înaltă tensiune) și recomandările CEI (Publicația 60).

Față de recomandările de mai sus, domeniul de frecvențe la care se permite efectuarea încercărilor la descărcătoare, se restrînge la minimum 48 Hz și maximum 52 Hz. Încercările sub ploaie și în condițiile poluării artificiale, la care sînt supuse anvelopele izolante ale descărcătoarelor, formează obiectul unor studii speciale ale comitetelor tehnice și a grupelor de lucru ale CEI respectiv CIGRE. Standardele naționale ale unor țări (ca de exemplu, VDE 0675, GOST 8934 și 10257; BS 2134, TGL 16428 etc.) cuprind și ele o serie de condiții suplimentare utile pentru încercări. La toate aceste țări însă se remarcă, în ultimul timp, o tendință evidentă de aliniere la CEI, care a depus în acest domeniu o activitate intensă de normalizare și unificare.

0	1	2	3	4	5	6	7
17	Verificarea capacității de descărcare la impuls de curent de lungă durată (2000 μs) și de mică amplitudine și/sau verificarea în regim de descărcare a sarcinii LEA sau LES	—	(×)	×	—	—	×
18	Verificare de funcționare (verificarea simultană a capacității de descărcare și de rupere a arcului electric)	—	—	×	—	—	×
19	Verificarea capacității de rupere a dispozitivului de deconectare (dacă există)	—	—	×	—	—	×
20	Verificarea funcționării limitatorului de presiune (verificarea rezistenței mecanice a anvelopei)	—	(×)	×	—	—	×
21	Verificarea etanșeității anvelopei	×	—	×	—	—	×
22	Verificarea la presiunea vîntului și la forța portantă aplicată pe borne	—	—	×	—	—	×
23	Verificarea în condiții de poluare artificială	—	—	—	—	—	×

Notă. Verificările de la pct 1, 5, 6, 7, 11, 15, și 21 se vor efectua pe trei eșantioane (descărcător, element sau fracțiune de descărcător), iar încercările 16, 17, 18, 19, 20 și 22 pe cîte trei eșantioane noi, care după probe nu se vor reutiliza.

Simbolurile utilizate pentru definirea tipurilor de încercări sînt următoarele: I — încercări individuale; L — încercări de lot; T — încercări de tip; PF — încercări de punere în funcțiune; P — încercare profilactică; S — încercare specială.

9.3. Încercarea izolației la tensiune de frecvență industrială și de impuls

Încercarea izolației externe și interne la tensiunea de frecvență industrială se efectuează, de obicei, cu piesele active ale descărcătorului (eclatoare, rezistoare cu rezistență nelineară) extrase din carcasa izolantă sau cu luarea de măsuri de evitare a amorsării eclatoarelor sau suprasolicitării rezistoarelor (prin demontarea rezistoarelor de șuntare etc.).

Descărcătorul probat trebuie să suporte fără nici o conturnare a izolației externe, în stare uscată (echipament de interior) sau umedă (echipament de exterior), timp de un minut, tensiunea sinusoidală de ținere, impusă prin standardul de produs (de exemplu STAS 7377-73). Dacă descărcătorul se compune din mai multe elemente de descărcător, încercarea se poate reduce la

probarea elementelor componente, cu condiția demonstrării prealabile a repartiției uniforme a tensiunii de-a lungul construcției.

Încercările la tensiunea de frecvență industrială pot să aibă, după caz, două scopuri: verificarea tensiunii de ținere și determinarea tensiunii de conturnare, în stare uscată și/sau sub ploaie. La încercările sub ploaie, descărcătorul complet montat (cu inele de gardă, colier de prindere etc.) se expune unei ploi artificiale cu apă de conductivitate prescrisă, realizată cu ajutorul uneia sau mai multor duze, model STAS 6669-69. Jetul format din picături trebuie să cadă pe descărcător cu o înclinare de aproximativ 45°, determinată prin măsurarea componentei verticale și orizontale a ploii (debitului stropirii) cu un recipient colector, a cărei deschidere are o suprafață de 100 ... 750 mm². La măsurarea componentei orizontale recipientul se așază în poziție orizontală și se îndreaptă spre duză (spre jiclor). Recipientul trebuie să fie amplasat cît mai aproape de partea dinspre duză a descărcătorului, însă nu atît încît să colecteze și stropii ricoșați de pe suprafața acestuia. Dacă înălțimea descărcătorului depășește 0,5 m, debitul ploii trebuie măsurat aproape de extremitățile și de mijlocul aparatului supus la probe. Debitele obținute pentru oricare din poziții nu trebuie să se abată cu mai mult de 25% față de medie. Pentru descărcătoare mai mici de 0,5 m debitul se măsoară într-o singură poziție, și anume aproape de mijlocul lor. Înaintea aplicării tensiunii descărcătorul se stropește timp de cel puțin 1 min. Caracteristicile ploii artificiale sînt trecute în tabelul 9.2. Tipul duzei și presiunea apei sînt cele

Tabelul 9.2

Caracteristicile ploii artificiale

Nr.	Denumirea caracteristicii	Valoarea impusă (toleranța admisă)
1	Debitul componentei verticale a ploii, mm/min	3 ± 10%
2	Rezistivitatea apei, Ω · cm	10 000 ± 10%
3	Temperatura apei, °C	Temperatura ambiantă ±15°C
4	Durata încercării la ținere sub ploaie, min	1

specificate în STAS 6669-69 și Publicația 60, a CEI. Restul condițiilor de încercare și metoda de interpretare a rezultatelor obținute sînt descrise în cap. 3.

Pentru încercarea izolației la tensiune de impuls descărcătorul se pregătește ca în cazul încercării cu tensiune de frecvență industrială. Încercarea se efectuează numai în starea uscată a descărcătorului. În rest metodele și schemele de încercare nu se deosebesc de cele descrise la cap. 3.

9.4. Determinarea tensiunii de amorsare la frecvență industrială

Tensiunea de amorsare la frecvență industrială se determină în stare uscată sau sub ploaie (numai în cadrul probelor de tip a descărcătoarelor de exterior) pe trei descărcătoare complete. Tensiunea care se aplică descărcătorului în momentul inițial trebuie să aibă o valoare suficient de mică pentru a se evita amorsarea eclatoarelor unitare datorită regimului tranzitoriu de punere bruscă sub tensiune (circa 75% din tensiunea minimă de amorsare), apoi se mărește cu o viteză uniformă pînă se produce amorsarea eclatoarelor de înseriere. Perioada de timp în care tensiunea poate depăși tensiunea nominală a descărcătorului (tensiunea de stingere) nu trebuie să depășească 5 s, dacă se încearcă descărcătoare cu rezistențe de șuntare, deoarece acestea pot fi deteriorate printr-o încălzire excesivă datorită aplicării tensiunii pentru un timp mai îndelungat. Viteza de creștere a tensiunii nu poate să fie nici prea mare, deoarece în acest caz citirea unor tipuri de voltmetre (electromagnetice, electrodinamice) va fi cu eroare mare datorită inerției echipajului mobil. Amorsarea se controlează vizual (în funcție de aprinderea unui bec cu neon înseriat sau pe ecranul oscilografului în cadrul probelor individuale) sau se înregistrează pe cale oscilografică uzuală (în cadrul probelor de tip). Curentul debitat de sursă va fi limitat în circuitul primar sau secundar al transformatorului, la o valoare de vîrf $\hat{I} = 0{,}7$ A.

După producerea amorsării sursa trebuie să fie deconectată cît mai rapid posibil, dar în maximum 0,5 s prin declanșare automată. Schema de încercare a unei astfel de instalații, practicată în primul rînd în condițiile exploatării, este dată în fig. 9.1, *a*, unde se arată și fenomenul de amorsare a unui descărcător (fig. 9.1, *b*, *c*, *d*). Tensiunea de amorsare se poate măsura, de asemenea cu divizoare de tensiune ohmice și capacitive sau cu eclatoare sferice.

Sarcina pe care o prezintă în circuitul de încercare un descărcător cu rezistențe de șuntare de conductanță mare poate să dea naștere la armonici în tensiunea aplicată pe bornele aparatului examinat, motiv pentru care sursa trebuie să aibă o impedanță internă suficient de mică, adică o putere suficient de mare (de ex. 25 kVA la 100 kV). Tensiunea trebuie să fie aplicată de cel puțin 5 ori cu o pauză de aproximativ 10 s între două aplicații succesive. Valoarea medie obținută pe baza celor 5 determinări este acceptată dacă tensiunea de amorsare la frecvență industrială, se încadrează în limitele specificate de norme (minimum și maximum), ca de exemplu în cele din tabelul 9.3.

Exceptînd descărcătoarele de 10 kA, pentru regim greu (intensiv) de funcționare, valoarea minimă a tensiunii de amorsare măsurată trebuie să se găsească peste 1,5 U_N (să depășească cu mai mult de 50% tensiunea de stingere, nominală a descărcătorului).

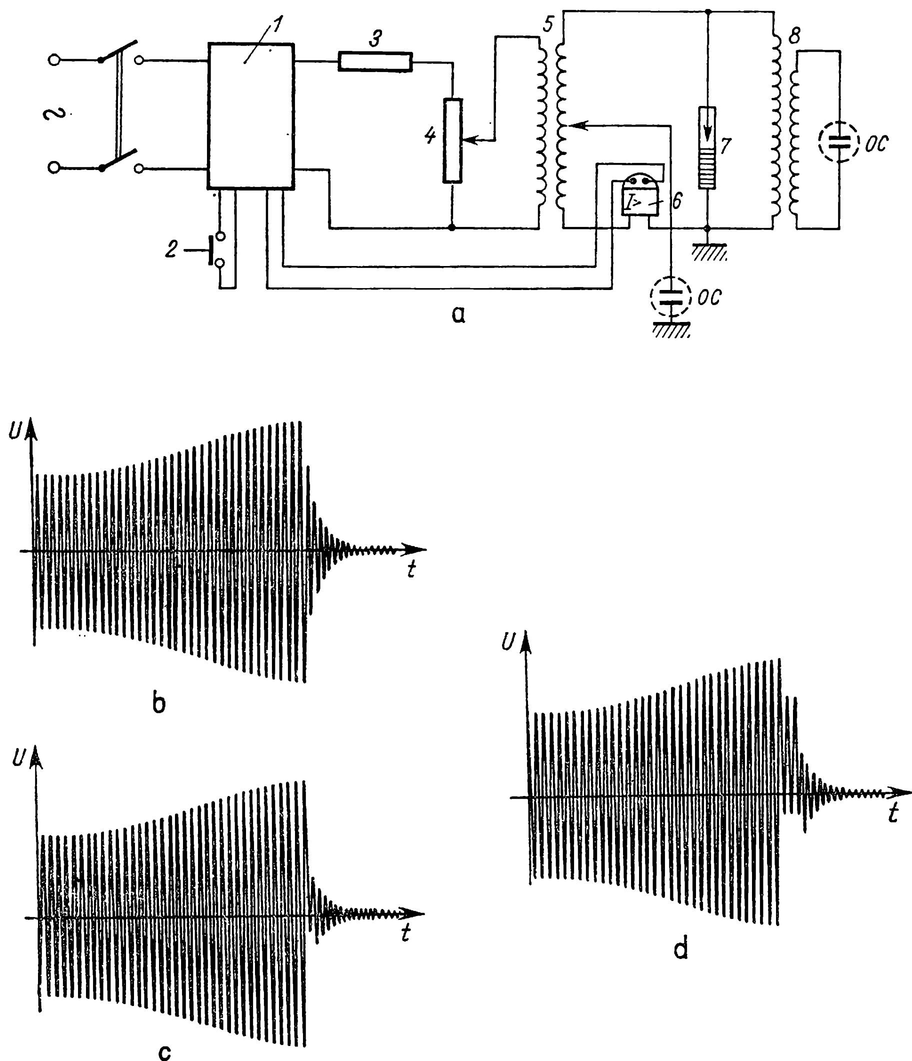


Fig. 9.1. Schema de verificare a tensiunii de amorsare de frecvenţă industrială a descărcătoarelor cu rezistenţe neliniare de tip DRVS în condiţiile exploatării (*a*) şi fenomenul de amorsare a descărcătorului, înregistrat cu un oscilograf (*b*, *c* şi *d*):

1 — demaror magnetic; *2* — buton de comandă; *3* — rezistenţă de limitare (de protecţie); *4* — regulator de tensiune; *5* — transformator ridicător; *6* — releul maximal de curent; *7* — descărcător; *8* — transformator de tensiune.

Tabelul 9.3

Valorile admisibile ale tensiunilor de amorsare la frecvență industrială a descărcătoarelor de tensiuni medii din sistemul electroenergetic al R.S.R.

Tipul și tensiunea nominală a elementului	Tensiunea de amorsare la 50 Hz (valoarea efectivă), kV	
	Limita inferioară	Limita superioară
1	2	3
Descărcătoare fabricate în R.S.R.		
DRV 6	16	18
DRV 10	26	30,5
DRV 15	38	48
DRV 20	48	60
DRV 25	58	72
DRV 30	58	72
DRV 35	76	96
Descărcătoare fabricate în U.R.S.S		
RVP 3	9	11
RVP 6	16	19
RVP 10	26	30,5
RVP 35	70	100
Descărcătoare fabricate în R.P.P.		
GZ 6	11,5	
GZ 9	17	
GZ 10	19	
GZ 12	23	
GZ 13	24,5	
GZ 15	28,5	
GZ 18	34	
GZ 20	38	
GZ 25	46	
GZ 30	57	
GZ 37	69	

OBSERVAȚIE. În exploatare descărcătoarele de 60...400 kV se încearcă pe elemente componente de 30 sau 33 kV (37 kV), dacă în prealabil se demonstrează că extrapolarea tensiunii de amorsare nu implică erori inacceptabile.

9.5. Determinarea tensiunii de 100% amorsări la impuls și ridicarea caracteristicii tensiune-timp (volt-secundă)

Tensiunea de 100% amorsări la impuls se determină pe aceleași descărcătoare ca și cele utilizate la subcap. 9.4. Generatorul de impuls se reglează pentru o undă 1,2/50 μ s, la care nu se produce descărcarea la polaritatea res-

pectivă. Pe borna descărcătorului se aplică impulsuri cu amplitudini din ce în ce mai mari, pînă se obțin amorsări consecutive stabile, controlate pe ecranul oscilografului catodic (cel puțin la 5 șocuri). Dacă din 5 șocuri consecutive la un șoc nu se produce amorsarea descărcătorului se aplică încă 10 șocuri succesive de aceeași polaritate, la care descărcătorul trebuie să amorseze de fiecare dată. Dacă nu amorsează, tensiunea de impuls se mărește cu o treaptă și încercarea se repetă din nou. În cadrul probei de determinare a tensiunii de 100% amorsări, timpul de predescărcare (timpul dintre originea undei și momentul de producere a descărcării) nu se ia în considerație, dar prin alegerea corespunzătoare a mărimii treptelor de creștere a tensiunii de fapt se asigură ca amorsarea să se producă nu pe fruntea, ci pe spatele sau vîrful undei. Proba se repetă pentru ambele polarități ale undei (pozitivă și negativă), rolul determinant avînd acea polaritate la care va rezulta o valoare mai ridicată a tensiunii de amorsare.

Instalația de încercare trebuie să permită reglajul undei de impuls în următoarele toleranțe:

a) 97 ... 100% — pentru valoarea de vîrf;

b) 0,85 ... 1,6 μs — pentru durata convențională a frunții undei;

c) 40 ... 60 μs — pentru durata convențională de semiamplitudine;

e) 5% din valoarea de vîrf — pentru oscilațiile în vecinătatea vîrfului.

Valorile tensiunilor de 100% amorsări astfel obținute nu trebuie să depășească pe cele impuse de norma de produs (ca de exemplu cele trecute în tabelul 9.4)

Tabelul 9.4

Valorile admisibile ale tensiunilor de amorsare la impuls a descărcătoarelor de tensiuni medii din sistemul electroenergetic al R.S.R.

Tipul și tensiunea nominală a elementului	Tensiunea de amorsare la impuls unda 1,2/50 μs (valoarea maximă), kV	
	Limită inferioară	Limită superioară
1	2	3
Descărcătoare fabricate în R.S.R.		
DRV 6	22	30
DRV 10	36	50
DRV 15	53	69
DRV 20	67	85
DRV 25	81	99
DRV 30	81	120
DRV 35	107	138

1	2	3
	Descărcătoare fabricate în U.R.S.S.	
RVP-RVS 6	22	35
RVP-RVS 10	35	50
RVS 15	53	75
RVS 20	63	85
RVS 30	79	120
RVS 33	109	125
RV-RVS 35	112	130
	Descărcătoare fabricate în R.P.P.	
GZ 6	16,5	23
GZ 9	24	33
GZ 10	27	36
GZ 12	33	43
GZ 13	35	45
GZ 15	40	52
GZ 18	48	56
GZ 20	54	69
GZ 25	65	86
GZ 30	81	98
GZ 37	98	121
GZS 10	28	32
GZS 12	34	38
GZS 13	37	42
GZS 15	43	48
GZS 18	51	58
GZS 20	57	65
GZS 25	71	82
GZS 30	85	100
GZS 37	105	120
	Descărcătoare fabricate în R.S.C.S.	
LV 6	23	40
LV 10	39	64
LV 15	58	76
LV 22	82	105
LV 35	124	150
SV 6	21	27,5
SV 10	35	45,5
SV 15	51	66
SV 22	72	94
SV 27	94	115
SV 35	116	145
VO 6	20	30
VO 10	31	47
VO 15	47	69
VO 22	64	94
VO 35	102	145
VR 6	20	27
VR 10	31	43
VR 15	47	63
VR 20	51	70
VR 30	76	104
VR 35	102	138

OBSERVAŢIE. În exploatare descărcătoarele de 60...400 kV se pot încerca pe elemente componente de 30 sau 33 kV (37 kV) dacă în prealabil se demonstrează că extrapolarea tensiunii de amorsare este posibilă fără erori inacceptabile datorită repartiţiei neuniforme a tensiunii.

Caracteristica tensiune-timp a descărcătoarelor la undă convențională de supratensiune atmosferică (1,2/50 μs) se ridică cu impulsuri de polaritate corespunzătoare tensiunilor de amorsare mai ridicate. Se aplică mai multe șocuri pe fiecare treaptă de tensiune, începînd cu o tensiune inferioară tensiunii de 100% amorsări, crescînd tensiunea de încărcare a generatoarelor de impuls pînă ce panta de creștere a tensiunii atinge valoarea recomandată de CEI (Publicația 99-1, tabelul VI, coloana 2) sau STAS 7377-73 (Tabelul 3 coloana 6 și 7). Pe fiecare treaptă de tensiune se aplică aproximativ 10 șocuri și se înregistrează valoarea instantanee cea mai mare a tensiunii înainte de amorsare și timpul de predescărcare (timpul pînă la amorsare, măsurat din originea convențională). Se ridică un nor de astfel de puncte pentru circa 5 trepte de tensiune și se calculează valoarea medie a tensiunilor și a timpilor de predescărcare, precum și dispersia acestora conform indicațiilor de la cap. 3. Se trasează curba mediană sau banda corespunzătoare a caracteristicii tensiune-timp (caracteristica volt-secundă sau de protecție a descărcătorului), obținînd o curbă de forma celei din fig. 9.2.

Caracteristica perfect orizontală U_{am} = const, pentru orice timp (pentru unde de impuls de pantă oricît de abruptă), reprezintă cazul ideal. Descărcătoarele cu rezistențe variabile spre deosebire de descărcătoare cu expulsie și cu coarne, se apropie foarte mult de o astfel de caracteristică, totuși pentru timpi de predescărcare mici (pentru cazul amorsării pe fruntea undei convenționale) se obține, de regulă, o creștere sesizabilă (mai ales la timpi mai mici de 0,3 μs).

● Tensiunea de amorsare pe fruntea undei se determină din caracteristica tensiune-timp care se intersectează cu dreapta reprezentînd panta convențională a frunții specificată în coloanele 6 și 7 din tabelul 3 (STAS 7337) sau coloana 2 din tabelul VI (CEI — Publicația 99-1), tocmai în punctul F care corespunde tensiunii căutate. Pentru a obține rezultate mai exacte se aplică 5 unde pozitive și 5 unde negative cu panta de creștere apropiată (în limitele de ± 0,1 μs) față de cea impusă (fig. 9.3).

În lipsa caracteristicii tensiune-timp, tensiunea de amorsare pe fruntea undei se determină cu unde de pantă abruptă, menționate anterior, aplicînd cîte cinci astfel de unde de polaritate pozitivă și negativă și determinînd valoarea tensiunii de amorsare din oscilograma tensiunii aplicate. În nici unul din cazuri, tensiunea de amorsare nu trebuie să fie mai mare decît cea specificată în STAS sau CEI.

● La descărcătoare pentru serviciu intensiv, de 10 kA, cu tensiunea nominală mai mare de 84 kV, se ridică și caracteristica tensiune-timp la amorsarea descărcătorului cu unde normalizate de supratensiune de comutație. Conform prevederilor STAS 7377-73 și CEI (Publicația 99-1) curba tensiune-timp se ridică cu trei unde de impuls avînd duratele convenționale ale frunții de 30 ... 60, 150 ... 300 respectiv 1000 ... 2000 μs. Durata de semiamplitudine se recomandă să fie de cel puțin două ori mai mare decît durata frunții. Pentru fiecare formă de undă și pentru ambele polarități se determină tensiunile de 50% amorsări după metoda descrisă. Apoi se aplică descărcătorului 10 unde de impuls suplimentare mergînd pînă la circa 1,4 U 50%.

Se înregistrează valoarea instantanee maximă a tensiunii și timpul corespunzător de predescărcare sau norul de puncte astfel obținute. Curba ten-

siune-timp construită pe baza acestor puncte trebuie să aibă o joncțiune continuă cu caracteristica tensiune-timp ridicată cu undă convențională de 1,2/50 μs. Curba se trasează folosind o scară liniară pentru ordonată (tensiuni de 100% amorsări) și o scară logaritmică pentru abscisă (timpi de predescărcare), așa cum este ilustrat și în fig. 9.4.

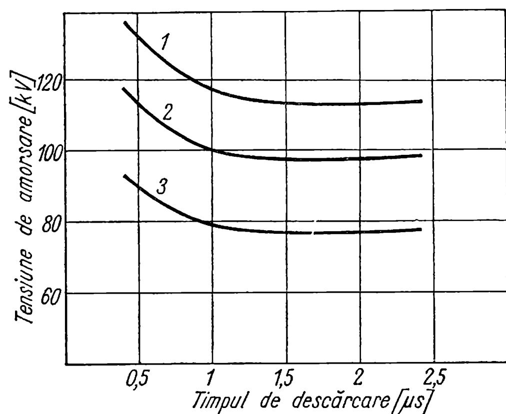


Fig. 9.2. Caracteristica tensiune-timp la unda convențională de supratensiuni atmosferice (1, 2/50 μs) la trei descărcătoare cu rezistență variabilă fabricate la Hermsdorf (RDG):

1 — descărcător tip VA 36/10; *2* — descărcător tip VA 27/10; *3* — descărcător tip VA 24/10.

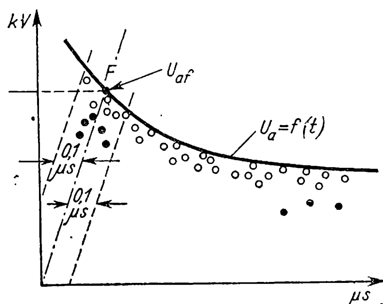


Fig. 9.3. Determinarea tensiunii de amorsare pe fruntea undei U_{af}, pe caracteristica tensiune-timp U_a a descărcătorului:

○ tensiuni de amorsare care se obțin la polaritatea undei de bază (din care rezultă caracteristica tensiune-timp mai ridicată);

● tensiuni de amorsare care se obțin la polaritate opusă.

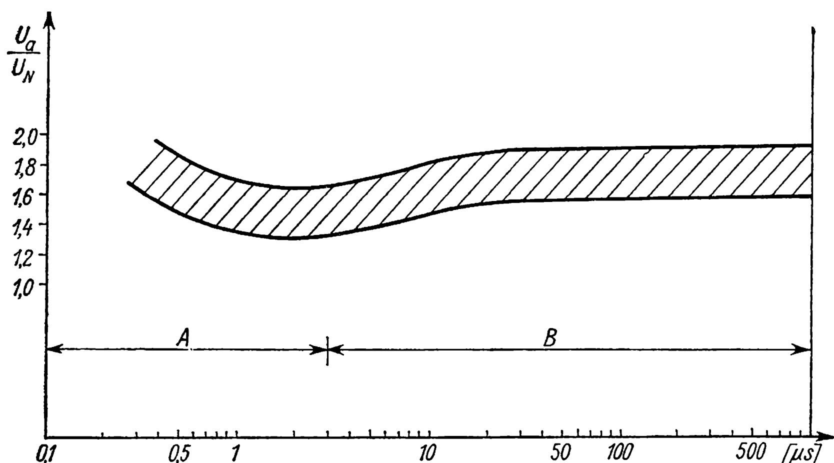


Fig. 9.4. Caracteristica tensiune-timp a descărcătorului tip AVT de 132 kV, U_N în domeniul undelor STA (zona *A*) și STC (zona *B*), U_a — tensiune de 100% amorsări la impuls

9.6. Verificarea tensiunii reziduale la curent nominal de descărcare și ridicarea caracteristicii volt-amper

Încercarea se efectuează cu ajutorul unui generator de impuls de curent de forma 8/20 μs pe trei eșantioane, a căror tensiune nominală trebuie să fie egală cu cel puțin 3 kV (cu excepția descărcătoarelor de tensiuni nominale inferioare acestei valori). Instalația trebuie să permită realizarea undei de curent de impuls în limitele următoare: 90 ... 100% pentru valoarea de vîrf, 7 ... 9 μs pentru durata convențională a fruntii și 18 ... 22 μs pentru durata convențională de semiamplitudine.

Pe fiecare eșantion se aplică 3 unde de impuls cu cel puțin 1 min pauză între șocuri, a căror valoare de vîrf va fi egală cu una din valorile 0,5 : 1 și 2 I_{ND} (unde I_{ND} este curentul nominal de descărcare). Pauza dintre treptele respective de curent va fi de cel puțin 10 min. Prin cele trei puncte (sau eventual mai multe puncte ridicate după caz) se trasează caracteristica volt-amper a descărcătorului și se interpolează (pentru a găsi căderea de tensiune pe element, corespunzătoare valorii exacte a curentului de descărcare) tensiunea reziduală nominală a eșantionului, care apoi se extrapolează liniar pentru a determina tensiunea reziduală a descărcătorului, corespunzătoare curentului nominal de descărcare (fig. 9.5).

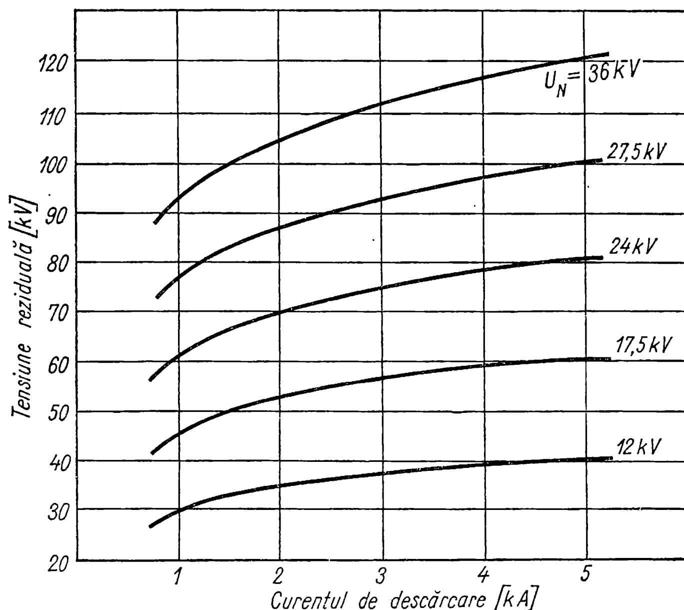


Fig. 9.5. Caracteristica volt-amper a descărcătoarelor de medie tensiune ale firmei VEB Keramische Werke Hermsdorf (RDG) avînd tensiuni nominale de stingere 12; 17, 5; 24; 27,5; 36 kV.

După o metodă veche, capacitatea de trecere a descărcătorului s-a caracterizat pe baza a două măsurări: una la *curent mare* (adică la curent nominal de descărcare, de exemplu 10 kA) și o altă măsurare la *curent mic* (adică la un curent corespunzător curentului maxim de însoțire prin descărcător, de exemplu 100 A).

Instalația de încercare compusă dintr-un generator de impuls de curent și aparatura de înregistrare a tensiunii reziduale, respectiv a curentului de descărcare (divizor capacitiv amortizat + șunt neinductiv + oscilograf catodic cu baleiaj electronic cu mai multe spoturi), la fabrica constructoare se folosește și pentru stabilizarea coeficientului de neliniaritate a discurilor de rezistențe neliniare, a căror caracteristică volt-amper se exprimă prin relația:

$$U_R = C_D I_D^{\alpha} \tag{9.1}$$

unde: α este coeficientul de neliniaritate;
C_D — o constantă.

Pentru stabilizarea caracteristicii neliniare a discurilor se folosește *metoda rodării* cu mai multe impulsuri de curent (zeci de impulsuri).

9.7. Verificarea capacității de descărcare a descărcătoarelor

Capacitatea de descărcare a descărcătoarelor se verifică printr-un curent de amplitudine mare și durată mică (forma undei 4/10 μs) și printr-un alt curent de amplitudine relativ mică, dar de durată mult mai mare (2000 μs).

Încercarea capacității de descărcare se efectuează pe 3 eșantioane noi (element sau fracțiune de descărcător) care nu au suferit nici o încercare anterioară. Dacă descărcătorul examinat conține prin construcție dispozitiv de deconectare, această încercare trebuie să fie efectuată cu dispozitivul respectiv în stare de funcționare.

● Verificarea capacității de descărcare la impulsuri de curent de scurtă durată și de mare amplitudine comportă aplicarea a două unde de impuls de curent, avînd forma 4/10 μs și mărimea 10(1,5), 25(2,5), 65(5) sau 100(10) kA. În paranteză s-au trecut curenții nominali ai descărcătoarelor respective examinate. Intervalul de timp dintre două aplicări de impulsuri, trebuie să fie suficient pentru răcirea (aproximativ pînă la temperatura mediului ambiant) completă a discurilor solicitate.

În timpul încercării se înregistrează tensiunea reziduală și curentul de descărcare. Tensiunile reziduale dintre două aplicări de impulsuri nu trebuie să prezinte diferențe sesizabile. Instalația de încercare (v. fig. 9.6) trebuie să permită obținerea de valori ale undei de curent în limitele următoare: 90 ... 110% pentru valoarea de vîrf; 3,5 ... 4,5 μs pentru durata convențională a frunții undei; 9 ... 11 μs pentru durata convențională de semiamplitudine și ± 5% pentru oscilațiile în vecinătatea vîrfului undei. În urma probelor, eșantioanele încercate nu trebuie să prezinte străpungeri sau contur-

nări ale rezistoarelor (discurilor sau rezistoarelor cu rezistență neliniară) și nici deteriorări importante ale eclatoarelor sau elementelor de dirijare a repartiției tensiunii (rezistoare cu rezistență neliniară, condensatoare de șuntare etc.).

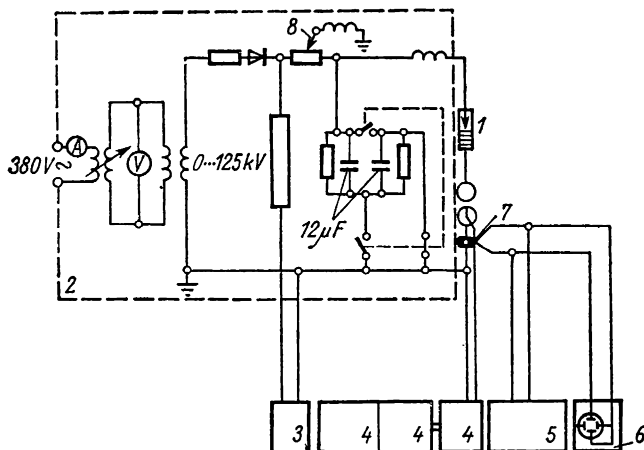


Fig. 9.6. Schema de încercare a capacității de descărcare la curenți mari de impuls a firmei VEB Keramische Werke Hermsdorf (RDG) de 110 kA (4...6/8...15 μ s):

1 — descărcător (eșantion de descărcător); *2* — generator de impuls de curent; *3* — microampermetrul divizorului rezistiv (ohmic); *4* — blocuri de declanșare a impulsului; *5* — bloc de măsurare a valorii de vîrf a curentului; *6* — oscilograf catodic; *7* — cordonul lui Rogowski; *8* — scurcircuitor de legare la pămînt și inductivitate de limitare a curentului.

● Verificarea capacității de descărcare la impulsuri de curent, de mică amplitudine și de lungă durată, se realizează cu o instalație de impuls de curent cu constante repartizate (fără ca elementele de circuit să aibă — în mod obligatoriu — valori identice în toate secțiunile). Dacă se utilizează un generator de impuls auxiliar pentru declanșarea (amorsarea) generatorului cu constante repartizate, energia înmagazinată în cel auxiliar nu trebuie să depășească 0,5% din energia înmagazinată în generatorul principal. Schemele unor astfel de instalații de încercare sînt redate în fig. 9.7 și 9.8.

Fiecare încercare la undă lungă cuprinde 20 impulsuri aplicate în 4 serii de 5 impulsuri. Intervalul de timp între descărcări trebuie să fie de 50 ... 60 s, iar intervalul de timp între două serii de 25 ... 30 min. Comportarea eșantioanelor se urmărește pe cale oscilografică (de ex. primul și ultimul șoc). În urma probei, tensiunea de amorsare și tensiunea reziduală remăsurată nu trebuie să difere cu mai mult de 10% față de aceleași valori determinate înaintea probelor.

În funcție de regimul de serviciu, intensiv sau neintensiv, al descărcătorului examinat, încercarea se va efectua diferențiat după cum urmează.

Descărcătoarele de 10 kA, *pentru serviciu intensiv*, pot conține în construcția lor eclatoare limitatoare de curent, care reduc valoarea curentului în

timp, distorsionează sensibil unda de curent dreptunghiulară. Generatoarele de impuls de curent în acest caz trebuie să aibă astfel de elemente (capacități, inductanțe etc.) încît pierderile și amortizarea curenților de descărcare să corespundă anumitor prescripții date detaliat în STAS 7377-73 (punctul 4.8.1) și în publicația 99-1 a CEI, verificate în prealabil.

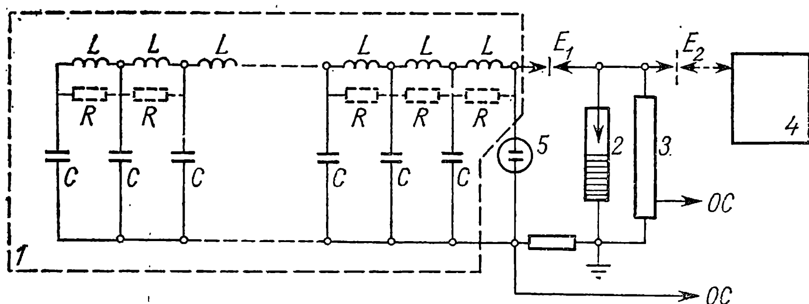


Fig. 9.7. Schema de încercare tipică a capacității de descărcare la unde lungi (la curenți de impuls de lungă durată):

1 — lanț de cuadripoli; *2* — descărcător de încercat; *3* — divizor de tensiune; *4* — generator de impulsuri auxiliar; *5* — sursă de c.c. (de încărcare a lanțului de cuadripoli).

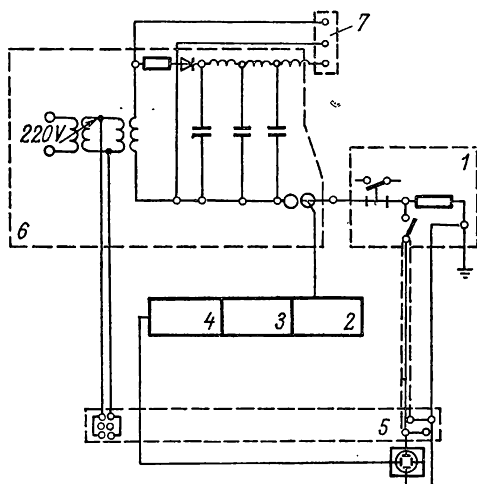


Fig. 9.8. Schema de încercare a capacității de descărcare la unde lungi de curent a firmei VEB Keramische Werke Hermsdorf (RDG), de 2000 μs, și 700 A:

1 — platformă de încercare cu eșantionul examinat; *2* — bloc de declanșare a generatorului de impuls; *3* — bloc de întîrziere; *4* — bloc de declanșare a oscilografului catodic; *5* — repartitor de tensiune; *6* — generator de unde lungi; *7* — panou de conexiuni.

Descărcătoarele de 10 kA, *pentru serviciu neintensiv* şi descărcătoarele de 5 şi 2,5 kA nu necesită o verificare specială, prealabilă a generatorului de impuls. Încercarea constă în aplicarea unui număr prescris de impulsuri dreptunghiulare (20 impulsuri), cu o durată de 500, 1000 sau 2000 μs pentru descărcătoare de 2,5 ; 5 — respectiv 10 kA.

Capacitatea de descărcare în cadrul probelor de recepţie (de lot) poate fi verificată şi prin metoda şocurilor multiple (ca de exemplu metoda sovietică de 40 şocuri), care se aplică eşantioanelor în serii de 5 impulsuri (scurte sau lungi), intervalul dintre impulsuri fiind de 30 ... 40 s, iar dintre seriile de impulsuri de cel puţin 15 min. Sînt şi mai interesante aceste probe dacă se duc pînă la distrugerea eşantioanelor, prin care se determină durata de viaţă a descărcătoarelor.

Tabelul 9.5

Valorile admisibile ale tensiunilor de măsurare şi ale curentului de conducţie şi/sau de fugă

Tipul şi tensiunea nominală a descărcătorului	Tensiunea redresată, de măsurare, kV	Valori admisibile ale curentului μA	Observaţii
1	2	3	4
Descărcătoare fabricate în R.S.R.			
DRV-6	6	10	
DRV-10	10	10	
DRVS-6	6	400...580	
DRVS-6 m	8	400...580	
DRVS-10	10	400...580	
DRVS-15	16	400...580	
DRVS-20	20	400...580	Se determină pe elemente DRVS 6 m şi DRVS-15
DRVS-25	20	400...580	
DRVS-30	24	400...580	
DRVS-35	16	400...580	Se determină pe elemente de 15 kV
DRVS-60	16—20	400...580	Se determină pe elemente de 15 şi 20 kV
DRVS-110	24	400...580	Se determină pe elemente de 30 kV.
Descărcătoare fabricate în U.R.S.S.			
RVP-3	4	10	
RVP-6	6	10	
RVP-10	10	10	
RVS-10	10	400...600	
RVS-15	16	400...600	
RVS-20	20	400...600	
RVS-30	24	400...660	
RVS-33	32	400...600	
RVS-35	32	400...600	
RVS-110	32	400...600	Se determină pe elemente de 35 kV

1	2	3	4
RVS-220	32	400...600	Se determină pe elemente de 35 kV
RVVM-3	3–4	400...600	
RVVM-6	6	400...600	
RVVM-10	10	400...600	
RVM-15	18	540...660	
RVM-20	24	540...660	
RVM-35	18	540...660	Se determină pe elemente componente de 15 kV
RVMG-110	30	1100...1250	Se determină pe elemente componente de 35 kV
RVMG-220	30	1100...1250	Idem

9.8. Determinarea curentului de conducție și/sau de fugă

Curentul de conducție la descărcătoare cu rezistențe de șuntare sau curentul de fugă (de scurgeri) în cazul descărcătoarelor fără rezistențe de șuntare, se determină cu o instalație de înaltă tensiune continuă (redresată), ca cele

Tabelul 9.6

Valorile limită ale rezistenței ohmice dintre borna de intrare și de ieșire a unor descărcătoare cu rezistoare de șuntare folosite în sistemul electroenergetic al R.S.R.

Tipul descărcătorului	Limitele valorilor, în MΩ	Observații
RVS 6	160...885	
RVS-15	160...885	Se admite o abatere de ± 30...50% la măsurările ulterioare față de măsurarea inițială (pe elemente componente sau asamblate)
RVS-20	240...1265	
RVS-30	480...2450	
RVS-33	480...2450	
RVS-35	160...885 sau 480...2450	
RVM-15	600...1200	Proba se execută pe elemente componente pentru 15 kV;
RVM-20	1000...2000	
RVM-35	600...1200	
RVMG-110	500...1500	Idem, pe elemente componente pentru 30 kV
RVMG-220	500...1500	Idem, pe elemente componente pentru 30 kV
DRVS-6	100...500	
DRVS-15	100...500	
DRVS-20	350...500	

descrise la cap. 3, dar cu o filtrare bună (cu un factor de ondulație de cca. 1%). Curentul de conducție se recomandă, în general, să fie în limitele 0,3 ...1 mA,

dacă aparatul este în stare curată și uscată. Pentru descărcătoarele utilizate în sistemul electroenergetic al R.S.R. valorile curenților de conducție și/sau de fugă sînt normalizate conform tabelului 9.5.

În exploatare se controlează, de regulă și valoarea rezistenței dintre bornele de intrare și de ieșire ale descărcătorului cu megohmmetrul (de exemplu la puneri în funcțiune) de 2500 ... 5000 V. Valoarea acestei rezistențe măsurată la 2500 V trebuie să se găsească în limitele din tabelul 9.6.

O deviație de 50 ... 100% față de rezultatele măsurilor anterioare trebuie să reprezinte pentru personalul de exploatare un semnal de alarmă.

9.9. Verificarea etanșeității și a rezistenței mecanice a carcasei (anvelopei) descărcătorului

Proba de etanșare se execută pe fracțiuni de descărcător asamblate, care se racordează la o instalație de vid extrăgînd aerul din anvelopă pînă la presiunea de 30—40 torri. După aceasta se întrerupe comunicația cu pompa de vid. Într-un interval de o oră, în aceste condiții, presiunea în interiorul elementului nu trebuie să crească cu mai mult de 0,5 torri. Proba de etanșeitate se poate efectua și cu o suprapresiune de 1 ... 2 daN/cm^2 sub apă, în mod similar cu verificarea camerelor auto în atelierele de vulcanizare, dar cu gaz uscat.

Rezistența mecanică a carcasei descărcătorului se verifică la solicitări echivalente provenite de la acțiunea vîntului și de la forțe de tracțiune a conductoarelor (forța portantă) de racord.

La încercare se supune acel element al descărcătorului care este cel mai solicitat din punct de vedere mecanic, adică elementul încastrat în suportul sau elementul fixat în placa de ancorare a aparatului. Flanșa inferioară a elementului examinat este fixată rigid, iar asupra flanșei superioare se aplică o forță portantă orizontală P_0, de valoarea

$$P_0 = \left(P_{0c} + \frac{P_v}{2}\right)\frac{H}{h} \quad [\text{daN}], \tag{9.2}$$

unde: P_{0c} este forța portantă orizontală maximă a conductorului, adică:
- — minimum 30 daN pentru descărcătoare de tensiuni medii (7,5 ... 42 kV) și
- — minimum 50 daN pentru descărcătoare de tensiuni înalte și foarte înalte (84 ... 360 kV);

H — înălțimea descărcătorului de la punctul de încastrare pînă la branșa de racordare a conductorului de pe capac;

h — înălțimea elementului examinat, socotită de la punctul de încastrare pînă la punctul de aplicare a forței P_0;

P_v — forța dată de presiunea totală a vîntului care se calculează conform relației

$$P_v = k_v S_p \frac{v^2}{16} \sin \theta \ [\text{daN}], \tag{9.3}$$

în care: $k_v \approx 0{,}7$ este un coeficient aerodinamic;
θ — unghiul dintre axa descărcătorului și direcția vîntului (în cazul cel mai defavorabil $\theta = 90°$);
S_p — suprafața descărcătorului proiectată pe un plan perpendicular direcției vîntului, în m^2;
v — viteza vîntului în m/s.

Elementul de descărcător trebuie să suporte această solicitare fără a se rupe, dezarma sau prezenta fisuri în anvelopa de porțelan chiar pînă la o forță de $2{,}5\,P_0$ (pentru o siguranță mai mare). Creșterea forței pînă la 50% din valoarea impusă se va efectua cu orice viteză după care mărirea efortului se face cu o viteză controlată, de 1 ... 2% din valoarea nominală pe secundă.

Conform prevederilor GOST 8934-58 forța portantă orizontală care trebuie să solicite descărcătorul la încovoiere se calculează din relația

$$P_0 = k_s P_{0c} \frac{H}{h} \ [\text{daN}], \tag{9.4}$$

în care: k_s este coeficientul de siguranță, prin care se ține cont de presiunea vîntului și care se ia de cel puțin egal cu 5.

9.10. Verificarea funcționării limitatorului de presiune

Rezistoarele de lucru și cele de șuntare ale descărcătoarelor sînt dimensionate foarte strîns (durata lor de viață este socotită la 5 ... 15 ani) avînd un procent specific foarte înalt de deteriorare (2 ... 5% din numărul total de aparate aflate în funcționare sînt avariate) prin explozii spectaculoase și periculoase. Avarierea descărcătoarelor se datorește străpungerii rezistoarelor „obosite“ datorită curenților de descărcare de amplitudine mare și de durată mică (ca cei care apar în cazul loviturilor de trăznet directe), datorită curenților de descărcare de amplitudine nu prea mare, dar de durată considerabilă (similar cu cele care apar în cazul supratensiunilor de origine internă) sau datorită curenților de însoțire. Străpungerea numai a 10% din rezistoarele de lucru (discuri) duce la creșterea curentului de însoțire de circa 2 ori, care în majoritatea cazurilor nu mai poate fi întrerupt într-o semiperioadă, iar arcul electric reamorsează. Reamorsarea arcului în majoritatea covîrșitoare a cazurilor duce la curenți de scurtcircuit prin descărcător. Deosebit de periculoase sînt din acest punct de vedere supratensiunile temporare (sau susținute), sau creșterile de tensiune, în cazul cărora, chiar în condițiile unor rezistoare integre, la prima reamorsare a arcului descărcătoarele pot să se distrugă datorită curenților de scurtcircuit.

Evident că distrugerea descărcătoarelor poate să provină și datorită pătrunderii umezelii în aparat. În acest caz mecanismul de deteriorare a

descărcătorului este următorul. Datorită umezelii descrește rezistența ohmică a descărcătorului și crește curentul de conducție. Creșterea curentului duce la încălzirea aerului din descărcător, la coborîrea tensiunii de amorsare și a tensiunilor de stingere a eclatoarelor unitare. Amorsările frecvente duc la încălziri mai accentuate și fenomenul se dezvoltă mai departe după legile avalanșei pînă la distrugerea descărcătorului datorită curenților de scurtcircuit. Distrugerea descărcătorului se produce sub forma unei explozii violente datorită cantității mari de energie electrică (mii și zeci de mii de kWs), care comprimă aerul din anvelopă (cîțiva litrii de aer) la presiuni foarte înalte (pentru comprimarea aerului la 20 daN/cm^2 este suficientă o energie de numai cîțiva kWs), mult mai mari décît rezistența porțelanului (suprapresiunea critică pentru porțelan este în jur de 20 daN/cm^2).

Explozia descărcătorului este însoțită de pagube materiale importante și uneori chiar de accidentarea personalului din exploatare. Din acest motiv, în ultimul timp, descărcătoarele cu rezistență variabilă nu se acceptă fără un dispozitiv verificat de limitare a suprapresiunilor (presure relief device). Încercările acestor dispozitive se execută pe eșantioane noi, unul la curenți de mare amplitudine și altul la curent de mică amplitudine. Pentru amorsarea curentului de defect eclatoarele și rezistoarele (discurile) se șuntează cu un fir fuzibil care se topește în primele 30 grade electrice după aplicarea curentului de încercare.

Eșantionul examinat trebuie să fie montat astfel ca să reproducă condițiile cele mai defavorabile din exploatare.

Se consideră că eșantionul probat a corespuns la probe, dacă carcasa de porțelan a rămas întegră.

● La încercarea cu curenți de mare amplitudine, puterea de scurtcircuit a sursei trebuie să fie suficient de ridicată pentru ca valoarea efectivă a componentei alternative a curentului să nu scadă în 0,2 s sub 75% din valoarea sa inițială, iar factorul de putere al sursei ($\cos \varphi$) să fie mai mic de 0,1 $\left(\frac{X}{R} \geqslant 10\right)$. Încercările trebuie să fie efectuate în schemă monofazată la o tensiune de 0,77 U_N (cu toleranțe de $-0, +30\%$) și la un curent de scurtcircuit prezumat de 40, 20, 10, 16 sau 5 kA pentru clasele A, B, C, D — respectiv E a limitatorului de presiune. STAS 7377-73 permite efectuarea încercărilor și la o tensiune mai mică de 0,77 U_N, cu condiția ca valoarea de vîrf a primei mari amplitudini a curentului, care străbate descărcătorul, să fie egală cu cel puțin 1,7 ori valoarea efectivă a curentului prezumat, corespunzător claselor A, B, C, D și E, iar valoarea efectivă a componentei periodice a curentului să fie egală cu valoarea efectivă a curentului prezumat. Se consideră că eșantionul supus verificării a satisfăcut condițiile încercării, dacă carcasa rămîne intactă sau ea se rupe într-un mod mai puțin violent, încît toate cioburile să rămînă în interiorul unei incinte cilindrice normalizate de standard.

● Încercarea limitatorului de presiune la curent de mică amplitudine se efectuează la o tensiune de 0,77 U_N ($-0, +30\%$) și un curent de 800 A ($\pm 10\%$) măsurat la 0,1 s după momentul de conectare. Curentul trebuie să treacă pînă ce se produce o scăpare de gaz, iar micșorarea curentului în timpul încercării nu trebuie să depășească 10% din valoarea sa inițială.

9.11. Verificarea dispozitivului de deconectare

Dispozitivul de deconectare al descărcătorului fiind montat în serie, este străbătut în exploatare de aceiaşi curenţi ca şi rezistoarele descărcătorului propriu-zis. Din acest motiv, el se încearcă în mod similar ca eşantionul de descărcător la undă de curent de mare amplitudine, la undă de curent de lungă durată şi la curentul de însoţire de 50 Hz. Comportarea dispozitivului de stingere la curenţii de însoţire se verifică în cadrul încercărilor de funcţionare a descărcătorului expus în subcap. 9.12. Amorsarea arcului se condiţionează prin şuntarea eclatoarelor (şi a rezistenţelor neliniare de şuntare) cu un fir fuzibil. Prin conectarea în fază (în apropierea valorii de vîrf a tensiunii) se obţin curenţi simetrici de 20, 200 şi 800 A.

Se încearcă cel puţin cinci eşantioane noi pentru fiecare din cele trei valori ale curenţilor. Pentru fiecare eşantion încercat se trasează şi o curbă a valorii efective a curentului care străbate obiectul examinat în funcţie de durata curentului.

Dispozitivul trebuie să asigure o separare efectivă şi permanentă. În caz de dubiu — dispozitivului de deconectare i se aplică timp de un minut o tensiune de frecvenţă industrială egală cu 1,2 U_N. Curentul maxim care va străbate calea de curent a dispozitivului de deconectare nu trebuie să depăşească 1 mA.

9.12. Încercarea de funcţionare a descărcătorului

Încercarea de funcţionare a descărcătorului reprezintă cea mai completă şi cea mai concludentă metodă de verificare a descărcătorului. Prin această încercare se reproduc condiţiile caracteristice de serviciu, constînd în aplicarea simultană (suprapusă) pe borna descărcătorului (sau fracţiunii de descărcător) a unor impulsuri de curent, (simulînd prin aceasta acţiunea supratensiunilor atmosferice şi de comutaţie) şi a tensiunii de frecvenţa industrială de la o sursă de frecvenţă, tensiune şi impedanţă prescrise (imitînd prin aceasta sistemul electroenergetic care creează curentul de însoţire prin descărcător după amorsarea eclatoarelor datorită supratensiunilor).

În cadrul acestor probe se pot atesta astfel de performanţe principale ale descărcătoarelor, ca de exemplu: capacitatea de descărcare, caracteristica de protecţie (stabilitatea lor la acţiunea supratensiunilor atmosferice şi de comutaţie) şi capacitatea de stingere a arcului electric, ţinînd cont de curenţii de însoţire care în prezent, la cele mai noi tipuri de descărcătoare, ating valori considerabile (1500 A).

Schemele unor instalaţii de încercare tipice folosite pentru efectuarea acestei probe sînt date în fig. 9.9 (recomandată de CEI în Publicaţia 99-1 sau în fig. 9.10, 9.11 şi 9.12.

Instalaţia din fig. 9.9 constă dintr-un generator de impulsuri de curent (numărul de etaje este indiferent), care se racordează la descărcătorul de încercat (eşantionul de descărcător) prin rezistenţa R, inductanţa L şi eclatoarele E_1 şi E_2, printr-un divizor de tensiune şi un şunt neinductiv R_3 (care se folosesc la înregistrarea tensiunii de impuls de pe borna obiectului, respectiv a curen-

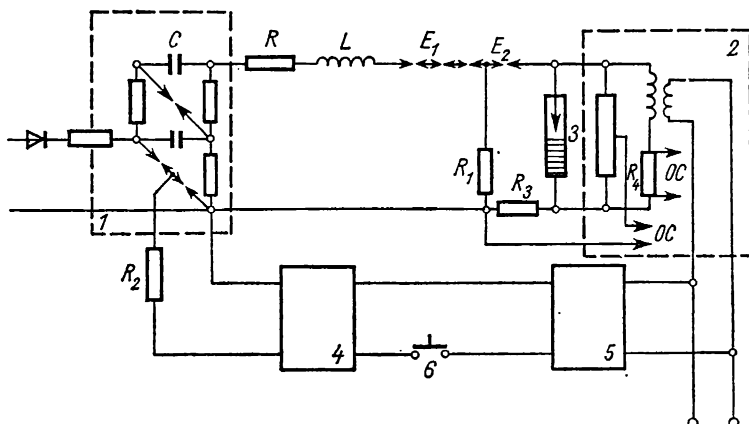


Fig. 9.9. Schema de principiu a instalaţiei de încercare a descărcătoarelor în regim de funcţionare:

1 — generator de impuls de curent (8/20 μ s); *2* — sursa de frecvenţă industrială şi instalaţia de măsurare a tensiunii şi curentului; *3* — descărcătorul încercat; *4* — dispozitiv de declanşare a generatorului de impuls; *5* — dispozitiv de sincronizare (de selectare a fazei); *6* — butonul de comandă

tului de şoc), dintr-un şunt R_4, pentru înregistrarea curentului de însoţire, asigurat de partea de reţea a schemei de la un transformator de putere corespunzătoare.

Rezistenţa R_1, de ordinul megaohmmilor, are menirea să fixeze potenţialul punctului median dintre cele două eclatoare în stare de repaos a schemei; adică să asigure potenţialul zero care condiţionează funcţionarea corectă a schemei de amorsare în orice fază a tensiunii sinusoidale.

În felul acesta partea E_1 a intervalului disruptiv nu este supusă la tensiunea de frecvenţă industrială şi poate să amorseze în orice fază a semiperioadei. În schimb, intervalul disruptiv E_2 este cît se poate de mic, ca să nu ţină decît la tensiunea de frecvenţă industrială. Eclatorul multiplu, divizat în mai multe distanţe de eclatare, împiedică trecerea curentului de însoţire de la sursa de tensiune alternativă la generatorul de impuls.

Curentul de însoţire şi tensiunea de pe borna descărcătorului se recomandă să se înregistreze cu un oscilograf magnetoelectric sau cu un oscilograf catodic, dar cu baleiaj mecanic. Se utilizează şi oscilografe catodice cu baleiaj electronic cu memorie sau sisteme analog-numerice.

Generatorul de impuls se declanşează la un moment (fază) dorit al semiperioadei tensiunii alternative din partea selectorului de faze *5* şi a dispozitivului de declanşare *4* cu ajutorul butonului de comandă *6*, astfel ca valoarea de amplitudine şi durata curentului de însoţire să fie maxim posibilă.

Încercarea se efectuează pe trei eşantioane noi de descărcător care nu au suferit anterior nici o altă încercare, cu excepţia etalonării (determinării tensiunii de amorsare şi a tensiunii reziduale la curent nominal de descărcare).

Tensiunea nominală a acestor eşantioane trebuie să fie cel puţin egală cu 3 kV. Este de dorit ca încercarea să fie executată pe un descărcător întreg (complet montat) ca în condiţiile de exploatare. Pentru descărcătoare cu tensiunea nominală superioară valorii de 12 kV, de regulă se permite efectuarea încercărilor pe o fracţiune de descărcător, dacă instalaţia de încercare nu permite executarea probelor pe un descărcător complet. În cazul descărcătoarelor cu repartiţie uniformă a tensiunii, tensiunea de încercare de frecvenţă industrială, ce trebuie să fie aplicată fracţiunii de descărcător, se obţine prin împărţirea tensiunii nominale a descărcătorului complet la numărul total n de fracţiuni componente (identice). Repartiţia tensiunii poate fi considerată uniformă dacă tensiunea de amorsare a descărcătorului fictiv, compus din n fracţiuni, nu este superioară valorii de 1,2 ori tensiunea de amorsare de frecvenţă industrială a descărcătorului complet.

Pentru descărcătoarele cu repartiţia neuniformă a tensiunii, tensiunea de încercare la frecvenţă industrială va corespunde acelei fracţiuni care, în condiţii normale de funcţionare, este supusă tensiunii parţiale celei mai ridicate.

Pentru menţinerea valorii impuse a curentului de însoţire este necesar ca raportul valorii rezistenţei neliniare a fracţiunii faţă de valoarea totală a rezistenţei neliniare a descărcătorului complet să fie egal cu raportul tensiunilor respective, nominale. Pentru satisfacerea acestei condiţii standardul (STAS 7377-73) permite alegerea unei combinaţii de eclatoare şi rezistoare, diferită de cea care este utilizată în mod normal la un descărcător obişnuit.

Impedanţa internă a sursei (puterea sursei) trebuie să fie astfel aleasă încît, în timpul debitării curentului de însoţire, valoarea de vîrf a tensiunii alternative măsurată pe bornele descărcătorului să nu scadă sub valoarea de vîrf a tensiunii nominale, iar după întreruperea acestui curent, creşterea de tensiune să nu depăşească 10%. Generatorul de impuls trebuie să debiteze curentul nominal de descărcare a descărcătorului cu aproximativ 60° electrice înainte ca tensiunea alternativă să atingă valoarea sa de vîrf (prima încercare). Dacă curentul de însoţire se stabileşte sigur pentru acest moment de amorsare, încercarea se continuă cu acest reglaj. În caz contrar, amorsarea generatorului se întîrzie în trepte, pînă ce curentul de însoţire se amorsează regulat şi va avea valoare de amplitudine şi durată maximă (mai ales în cazul eclatoarelor limitatoare de curent).

Polaritatea impulsului ce produce amorsarea, de regulă, este aceeaşi cu polaritatea semiperioadei tensiunii alternative (în scopul cercetării se pot aplica şi impulsuri de polaritate opusă). Pentru verificarea descărcătorului în regim de funcţionare se aplică 20 de impulsuri de aceeaşi polaritate repartizate în 4 grupe de cîte 5 impulsuri. Intervalul de timp între impulsurile aceleiaşi grupe este de 50 ... 60 s, iar intervalul dintre grupe de 25 ... 30 min.

Instalaţia de reglaj a curenţilor trebuie să permită obţinerea unor curenţi de descărcare în limitele 90 ... 110% pentru valoarea de vîrf, 7 ... 9 μs pentru durata convenţională a frunţii undei şi 18 ... 22 μs pentru durata convenţio-

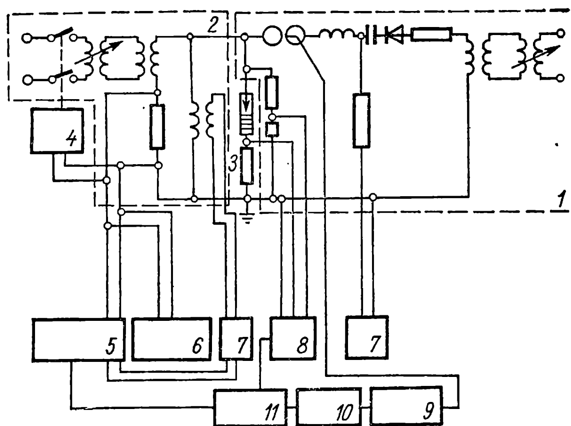


Fig. 9.10. Schema instalaţiei de verificare a descărcătoarelor în regim de funcţionare utilizată de firma VEB Keramische Werke Hermsdorf (RDG):

1 — generator de impuls de curent; *2* — sursă de frecvenţă industrială de 1 ...2 MVA (putere nominală) 5 ... 20 kA la 1,5 ... ... 8,2 kV în regim de scurtcircuit; *3* — descărcător (eşantion) de încercat; *4* — declanşator de avarie; *5* — oscilograf magnetoelectric; *6* — bloc de măsurare a valorii de vîrf a tensiunii; *7* — voltmetru; *8* — oscilograf catodic; *9* — selector de fază; *10* — bloc de întîrziere; *11* — declanşator de baleiaj.

nală de semiamplitudine. În cadrul probelor tensiunea de frecvenţă industrială şi curentul de însoţire trebuie să fie înregistrate pe oscilograf pentru cel puţin o descărcare din fiecare grupă. Înregistrarea trebuie să cuprindă cel puţin o perioadă completă a tensiunii înaintea aplicării undei de impuls şi cel puţin o perioadă după stingerea curentului de însoţire.

La sfîrşitul celor 20 de şocuri, după răcirea eşantionului, se refac probele de determinare a tensiunii de amorsare la frecvenţă industrială şi a tensiunii reziduale, valorile cărora nu trebuie să se deosebească cu mai mult de 10% faţă de valorile stabilite înaintea încercării de funcţionare.

Încercarea de funcţionare a descărcătoarelor poate să fie efectuată şi în condiţiile sistemului electroenergetic cu ajutorul unui generator de impuls mobil (transportabil).

În fig. 9.11 se dă, de exemplu, schema de principiu a unei astfel de instalaţii de încercare a descărcătoarelor folosite pentru protecţia reţelelor contra supratensiunilor atmosferice, propusă de Kaplan şi Nasatîr. Sursa de curent (şi de tensiune corespunzătoare) de impuls în această schemă este un generator de impuls (conturul E_2, C, R_{a1}, L, E_1, E_1', *3*), iar sursa de tensiune de frecvenţă industrială (sursa pentru curent de însoţire) constă dintr-o combinaţie de înfăşurări a trei transformatoare T alimentate de la barele unei staţii din sistemul electroenergetic prin separatorul S_1 şi întreruptorul I. În schema din figură,

pe borna descărcătorului de încercat *4* se aplică tensiunea alternativă pentru cîteva semiperioade, după care prin blocul de sincronizare (de selectare a fazei) şi de amorsare a generatorului de impuls curentul de impuls se trece prin des-

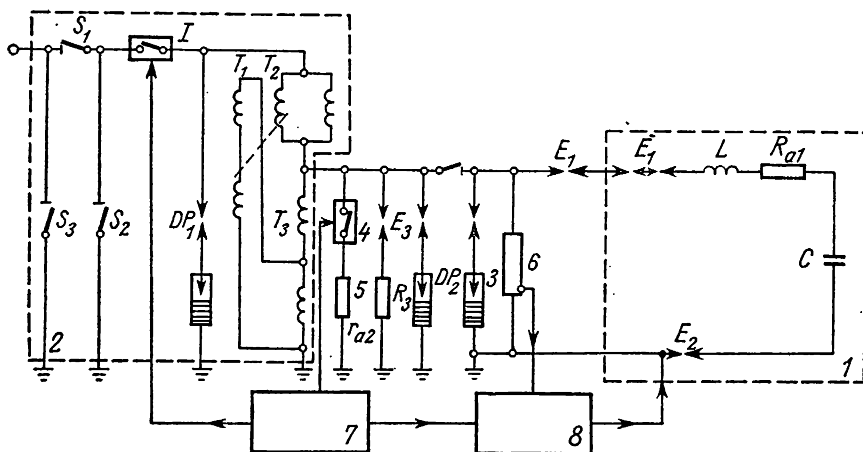


Fig. 9.11. Schema de încercare a descărcătoarelor în sistemul electroenergetic în regim de funcționare a lui Kaplan-Nasatîr;

1 — generator de impuls de tensiune; *2* — sursa (partea de rețea) de frecvență industrială; *3* — descărcătorul examinat; *4* — întreruptor; *5* — rezistor de limitare a supratensiunilor de conectare a transformatorului; *6* — divizor de tensiune; *7* — bloc de comandă automată a probei; *8* — bloc de sincronizare și de amorsare a generatorului de impuls.

cărcătorul examinat, în faza dorită a tensiunii sinusoidale (cu 30 ... 50 grade electrice înainte de atingerea valorii de vîrf). Curentul de însoţire, care ia naştere prin descărcătorul amorsat, este stins în camera de stingere a eclatoarelor cu dispozitivul de deconectare a descărcătoarelor. Generatorul de impuls este separat de restul schemei de încercare imediat după trecerea curentului de impuls prin distanţele disruptive multiple ale eclatorului E_1.

Pentru preîntîmpinarea amorsării intempestive ale eclatoarelor E_1, E_1' şi a eclatoarelor unitare ale descărcătorului examinat la conectarea bruscă a transformatorului (datorită supratensiunilor de conectare) se include în circuit o rezistenţă de amortizare r_{a2} (prin conectarea corespunzătoare a întreruptorului de la blocul de comandă automată a probei), dar numai pentru scurt timp, care să nu deranjeze fenomenul tranzitoriu ce are loc la aplicarea curentului de impuls şi la stingerea arcului curentului de însoţire. Deoarece în cadrul acestor probe se impun condiţii severe izolaţiei transformatoarelor, se recomandă montarea în cascadă a bobinelor (ca de exemplu cea din figură) prin care se realizează o clasă de izolaţie superioară a înfăşurării secundare faţă de cea a descărcătorului examinat. În această schemă este posibilă efectuarea probei chiar cu tensiuni de frecvenţă industrială şi impuls de tensiune de polarităţi opuse, care produc în înfăşurarea transformatorului solicitări deosebit de severe. Cu toate acestea este recomandabil ca pentru pro-

tejarea izolației transformatoarelor să se pună un eclator (eclatorul E_3) și descărcătoare cu rezistență variabilă, de protecție DP_1 și DP_2, avînd tensiuni de amorsare ceva mai scăzute față de descărcătoarele similare din seria normală.

În fig. 9.12 se dă o altă schemă a lui Kaplan și Nașatîr de verificare a descărcătoarelor moderne folosite pentru limitarea supratensiunilor de comutație. În acest caz, atît amorsarea, cît și funcționarea descărcătorului

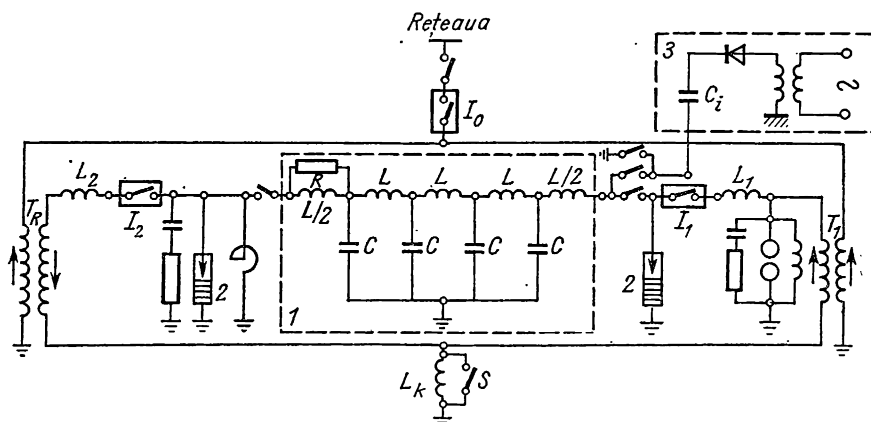


Fig. 9.12. Schema de încercare a lui Kaplan și Nasatîr pentru verificarea descărcătoarelor în regimul supratensiunilor de comutație:

1 — modelul fizic al liniei; *2* — descărcător examinat; *3* — instalația de redresare folosită pentru încărcarea prealabilă a liniei (pentru modelarea sarcinii reziduale în regim RAR).

sînt condiționate de același fenomen tranzitoriu din sistem. Rezultă că schema de încercare trebuie să reproducă cît mai fidel posibil condițiile respective din sistem. Reproductibilitatea este asigurată dacă schema de încercare reprezintă un fel de model fizic echivalent al rețelei (configurației de rețea) reale.

Deoarece descărcătoarele de limitare a supratensiunilor de comutație se montează în rețelele de foarte înaltă tensiune în primul rînd pentru reducerea supratensiunilor de reanclanșare automată a liniilor în gol sau de întrerupere a liniei, ar fi de dorit ca modelele fizice ale rețelei să reproducă întocmai aceste regimuri și scheme. Schema de încercare din fig. 9.12 reproduce întocmai regimurile menționate mai sus. Lanțul de cuadripoli prin care se reproduce linia *1* se alimentează de la înfășurările secundare ale transformatoarelor T_1 și T_R prin inductivitățile L_1 și L_2. Întreruptorul I_0 conectează schema la rețea și limitează durata curentului de scurtcircuit la sutimi de secundă.

Pentru reproducerea condițiilor de întrerupere a alimentării se folosesc transportoarele T_1 și T_R, iar pentru cercetarea descărcătorului în regim RAR întreruptorul I_2 se deconectează și linia se alimentează dintr-o singură parte.

Valoarea tensiunii staționare care se aplică pe borna descărcătorului examinat se reglează prin modificarea parametrilor L și C a modelului fizic *1* sau /și prin variația valorii inductivității L_1. Sarcina reziduală se realizează printr-o încărcare prealabilă a liniei de la o instalație de redresare corespunzătoare *3*.

Pentru reproducerea regimului RAR în schema de încercare din figură, contactele întreruptorului I_1 se ating în faza ψ, după care se desfășoară fenomenul tranzitoriu, similar din rețele (supratensiuni de conectare a liniilor în gol). Întreruptorul I_0 declanșează instalația de la sistem în 0,06 ... 0,08 s după funcționarea descărcătorului. În cazul regimului de întrerupere a alimentării, transformatoarele T_1 și T_R se conectează în opoziție de fază. Peste 0,04 ... 0,06 s după astfel de conectare a celor două transformatoare, se termină fenomenul tranzitoriu și se deschide întreruptorul I_2, simulînd prin aceasta întreruperea alimentării (și solicitarea corespunzătoare, foarte severă a descărcătorului). Schema de încercare din figură poate să reproducă orice regim de discordanță de fază dacă nu se alimentează de la o singură bară și dacă inductivitatea de referință a rețelei de alimentare L_R și a schemei L_K se află într-un raport corespunzător.

10. Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune

Siguranțele fuzibile sînt aparate de conexiune, a căror funcție este de a întrerupe, prin topirea unuia sau mai multor elemente special dimensionate și construite, circuitul în care sînt înseriate, atunci cînd curentul depășește anumite limite pentru un timp determinat. Relația dintre timp și valoarea curentului care produce topirea este proprie fiecărui tip de siguranță fuzibilă.

Siguranțele fuzibile sînt constituite dintr-un soclu cu contacte, în care se montează elementul de înlocuire ce conține elementul fuzibil. Constructiv, elementul de înlocuire este înzestrat și cu un dispozitiv indicator de funcționare sau cu un percutor. Acesta din urmă, în momentul arderii elementului fuzibil, este eliberat și poate acționa mecanic asupra unui contact sau element declanșator. La trecerea curentului nominal prin siguranța fuzibilă, aceasta trebuie să asigure continuitatea circuitului un timp nelimitat, fără ca încălzirile diferitelor părți să depășească pe cele impuse. După un anumit timp de la apariția unor supracurenți, multipli ai curentului nominal ai elementului fuzibil, se produce topirea acestuia, ceea ce conduce la apariția unui arc electric. Acesta se stinge fie la una din trecerile naturale prin zero ale curentului, fie chiar înainte de prima trecere ce urmează apariției arcului. Se definește astfel timpul total de funcționare format din suma timpului de topire și a timpului de arc. Integrala pătratului curentului ce străbate elementul fuzibil la funcționare, definește integrala lui Joule ($I^2 t$), indicată de obicei de constructor pentru fiecare tip de fuzibil în parte.

Funcționarea siguranței fuzibile poate influența asupra valorii curentului din circuitul în care este montată. În cazul în care impedanța siguranței este nulă, în circuit va circula curentul prezumat. Timpul virtual de funcționare sau de topire se obține prin divizarea integralei Joule pentru timpul respectiv, prin pătratul valorii curentului prezumat.

Relaţia dintre timpul virtual şi valoarea efectivă a componentei simetrice a curentului prezumat constituie caracteristica timp-curent, caracteristică deosebit de importantă pentru alegerea siguranţelor fuzibile într-o instalaţie.

10.1. Nomenclatura încercărilor

Încercările la care sînt supuse siguranţele ca şi celelalte aparate, pot fi de tip, pentru verificarea tuturor caracteristicilor specificate şi de lot.

Încercările de tip cuprind:

— încercări dielectrice;

— încercări de încălzire;

— încercarea capacităţii de rupere;

— ridicarea şi verificarea caracteristicii timp-curent;

— verificarea etanşeităţii la ulei (numai pentru cele prevăzute să lucreze în acest mediu).

Încercările de lot, mult mai reduse ca volum, sînt:

— încercarea de ţinere la tensiune alternativă aplicată, a suportului;

— încercarea continuităţii, eventual şi măsurarea rezistenţei elementului fuzibil.

Siguranţele fuzibile supuse încercărilor de tip trebuie să fie noi, curate şi în bună stare, complet montate pe un suport metalic rigid, în poziţia de funcţionare normală.

10.2. Încercarea izolaţiei

Racordarea aparatului se va face la fiecare bornă cu ajutorul unor conductoare neizolate, fără suporţi, care trebuie să urmeze un traseu paralel cu elementul de înlocuire, cel puţin pe o distanţă egală cu cea de izolare a suportului.

Tensiunile de încercare alternativă sau de şoc vor fi aplicate:

a) între bornă şi toate celelalte părţi metalice susceptibile de a fi puse la pămînt, atît cu elementul de înlocuire montat, cît şi fără acesta;

b) între bornele de intrare şi ieşire ale suportului.

Pentru construcţii multipolare, tensiunile se aplică;

a) între toate părţile sub tensiune ale tuturor polilor, legate împreună şi părţile metalice susceptibile de a fi puse la pămînt;

b) între bornele fiecărui pol separat şi părţile susceptibile a fi puse la pămînt;

c) între bornele de intrare şi ieşire, ale suporţilor, bornele de pe aceeaşi parte fiind legate între ele.

Încercarea în stare uscată se face cu undă de şoc 1,2/50, prin aplicarea a cinci unde consecutive. Acestea nu trebuie să provoace străpungeri sau conturnări. Dacă în cursul încercării apare o singură conturnare, se vor aplica încă 10 şocuri suplimentare. Aparatul este corespunzător dacă la cele 10 şocuri suplimentare nu mai apar conturnări.

Încercările cu tensiune alternativă aplicată, în stare uscată sau sub ploaie, se fac prin menținerea timp de 1 min a tensiunii specificate, corespunzătoare clasei de izolație a siguranței, ca și la celelalte zone de înaltă tensiune.

10.3. Încercarea de încălzire

Aceasta se efectuează așa cum s-a arătat la încercările generale. Suplimentar trebuie precizat că ea se efectuează numai pentru elementul de înlocuire ce are curentul nominal maxim utilizabil în soclu.

Tabelul 10.1

Curent nominal al siguranței A	Secțiunea conductorului de legătură mm^2
$\leqslant 25$	20 ... 30
25 ... 63	40 ... 60
63 ... 200	120 ... 160
200 ... 400	250 ... 350

Conductoarele de legătură la borne trebuie să fie din cupru, neizolate, fiecare avînd o lungime de aproximativ 1 m, așezate într-un plan paralel cu cel de fixare al elementului de înlocuire. Secțiunile conductoarelor în funcție de curentul nominal sînt date în tabelul 10.1.

10.4 Verificarea capacității de rupere

Aparatul va fi montat ca în fig. 10.1, pentru a se reproduce eforturile electrodinamice ce apar în funcționarea reală. Pentru a împiedica mișcarea conductoarelor de legătură, care ar conduce la eforturi suplimentare la bornele soclului, acestea vor fi menținute la o distanță egală cu înălțimea suportului izolant, dar nu mai mică de 0,5 m.

De obicei poziția de montare este verticală, cu excepția cazului în care în poziția orizontală apar condiții mai severe de încercare.

Încercările trebuie să cuprindă trei serii și anume:

Seria 1 — verificarea capacității nominale de rupere I_1;

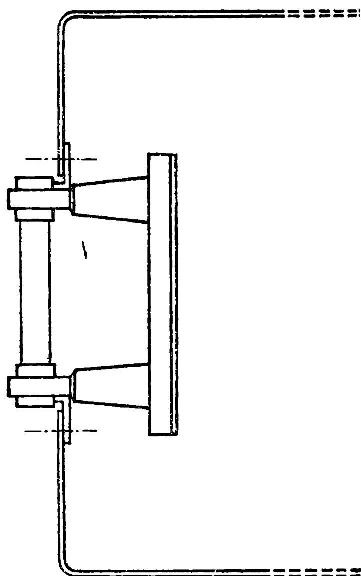


Fig. 10.1. Montarea siguranței fuzibile pentru încercarea capacității de rupere.

Seria 2 — verificarea funcționării la un curent prezumat I_2, apropiat de cel ce dă energia maximă în arc;

Seria 3 — verificarea funcționării la un curent I_3 care pentru siguranțele fuzibile de uz general corespunde curentului ce provoacă topirea într-o oră, iar pentru siguranțele fuzibile asociate corespunde curentului minim nominal de rupere.

Valorile lui I_1, I_2 și I_3 sînt valorile efective ale componentelor simetrice ale curentului.

Condițiile de încercare sînt date concentrat în tabelul 10.2.

Tabelul 10.2

Parametrii	Încercările		
	Seria 1	Seria 2	Seria 3
Tensiunea de restabilire de frecvență industrială	$0{,}87\ U_N{}^{+5\%}_{\ 0\%}$		$U_N{}^{+5\%}_{\ 0\%}$
Tensiunea tranzitorie de restabilire	Conform normelor		Neimpusă
Factor de putere	$\leqslant 0{,}15$		0,4...0,6
Curentul prezumat	$I_1{}^{+5\%}_{\ 0}$	I_2	$I_3{}^{\ 0\%}_{-10\%}$
Curentul în momentul apariției arcului	—	$0{,}85\ I_2 \ldots 1{,}06 I_2$	
Momentul apariției curentului	Nu înaintea trecerii prin zero a tensiunii	0...20° electrice după trecerea prin zero	Oarecare
Momentul apariției arcului, față de trecerea prin zero a tensiunii	Pentru o încercare 40°...65° Pentru două încercări 65°...90°	—	—
Durata menținerii tensiunii după rupere	$\geqslant 15$ s	$\geqslant 60$ s	
Numărul de încercări	3	3	2

Dacă în timpul încercărilor în seria 1, toate condițiile impuse seriei 2 sînt îndeplinite în cursul uneia sau a mai multor încercări, nu mai este necesar să se repete încercările din seria 2.

În cazul în care, curentul necesar pentru seria 2 este mai mare decît capacitatea nominală de rupere, seriile 1 și 2 vor fi înlocuite prin șase încercări la capacitatea nominală de rupere, fiecare cu un alt moment al stabilirii curentului, separate între ele cu cîte 30° electrice.

Încercările în seriile 1 și 2 este suficient să se execute numai pentru fuzibilul de curent maxim, acestea fiind acoperitoare pentru cele de curenți mai mici, de aceeași concepție și construcție.

Încercările se efectuează într-un circuit monofazat.

Pentru seriile 1 și 2 schemele circuitelor sînt reprezentate în fig. 10.2, iar pentru seria 3, în fig. 10.3. Factorul de putere al circuitului și curentul prezumat se reglează cu ajutorul rezistențelor și inductanțelor. Pentru seria 3 de încercări, inductanța va fi șuntată cu o rezistență avînd o valoare de 30 ... 40 ori mai mare decît reactanța inductanței.

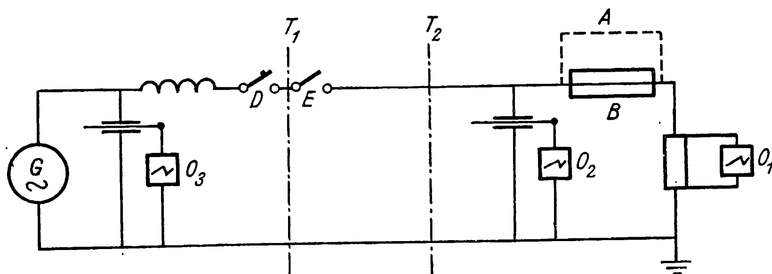


Fig. 10.2. Circuitul de încercare pentru seriile 1 și 2:
A — conexiuni amovibile pentru etalonare; *B* — siguranța încercată; *D* — întreruptor de protecție; *E* — scurtcircuitor sincron; *G* — sursa principală de energie; O_1 — măsurarea curentului; O_2 — măsurarea tensiunii de restabilire; O_3 — măsurarea tensiunii de referință; T_1, T_2 — locul unde pot fi amplasate transformatoare pentru obținerea tensiunii necesare la încercare.

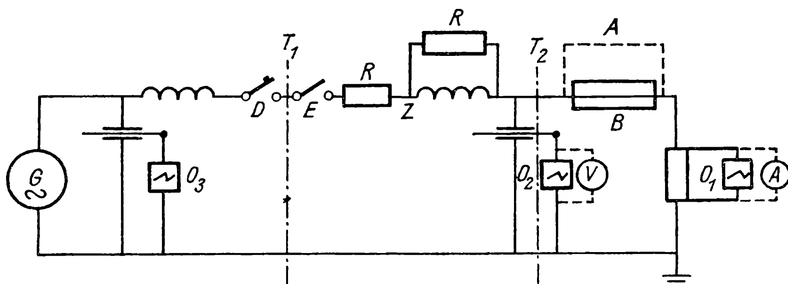


Fig. 10.3. Circuitul de încercare pentru seria 3:
Z — impendanță reglabilă; *R* — rezistență reglabilă
(semnificația celorlalte notații este aceeași ca și pentru fig. 10.2).

Tensiunea de restabilire de frecvență industrială nu trebuie să fie deformată.

Tensiunile tranzitorii de restabilire proprii circuitului, pentru încercările în seriile 1 și 2 sînt precizate în norme (de exemplu, publicația CEI 282-1 din 1974).

Pentru etalonarea circuitului, în locul siguranței fuzibile se montează o bară de cupru cu impedanță neglijabilă și se înregistrează curenții prezumați (fig. 10.4).

După reglarea circuitului, se scoate bara și în locul ei se montează siguranța de încercat. Scurtcircuitorul *E* se închide la momentul necesar, așa cum s-a precizat în tabelul 10.2.

Pentru toate cele trei serii de încercări se înregistrează și se măsoară supratensiunile ce apar la întreruperea circuitului. Acestea nu trebuie să depășească valorile specificate în norme.

Pentru încercările din seriile 1 și 2 se vor înregistra obligatoriu și curenții, pentru a se putea determina curentul întrerupt limitat.

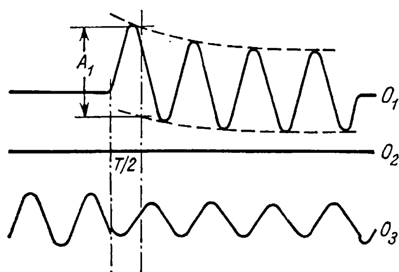


Fig. 10.4. Oscilograma de etalonare: O_1 — curentul întrerupt; O_2 — tensiunea de restabilire; O_3 — tensiunea de referință.

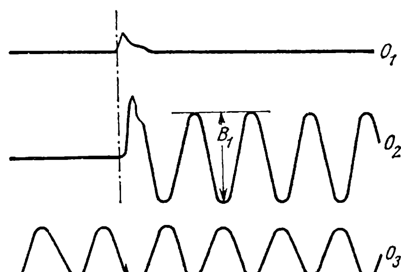


Fig. 10.5. Oscilogramă pentru seria 1 de încercări: O_1 — curentul întrerupt; O_2 — tensiunea de restabilire; O_3 — tensiunea de referință.

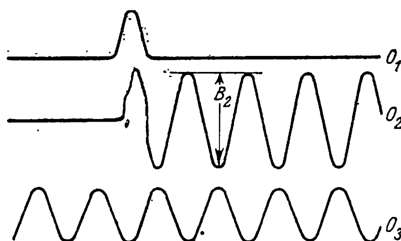


Fig. 10.6. Oscilogramă pentru seria 2 de încercări: O_1 — curentul întrerupt; O_2 — tensiunea de restabilire; O_3 — tensiunea de referință.

Pentru seriile 1 și 2 de încercări, curentul rupt prezumat va fi valoarea efectivă a componentei simetrice a curentului, măsurată la o semiperioadă după începutul scurtcircuitului, în timpul încercării de etalonare, conform fig. 10.4

$$I_1 = \frac{A_1}{2\sqrt{2}} \quad \text{și} \quad I_2 = \frac{A_2}{2\sqrt{2}}$$

unde A_2 corespunde etalonării pentru seria 2 de încercări.

În cazul seriei 3, curentul întrerupt va fi valoarea efectivă a componentei periodice a curentului măsurat în momentul începerii arcului, în timpul încercării capacității de rupere, așa cum se arată în fig. 10.7

$$I_3 = \frac{A_3}{2\sqrt{2}}.$$

Valoarea tensiunii de restabilire de frecvență industrială se măsoară între vîrfurile celei de a doua semiperioadă neinfluențată de tensiunea tranzitorie și dreapta ce unește vîrfurile semiundelor precedentă și următoare conform fig. 10.5 și 10.6

$$V = \frac{B}{2\sqrt{2}}.$$

La încercarea capacității de rupere, elementele de înlocuire umplute cu pulberi nu trebuie să emită în exterior flamă sau să arunce pulberea. Se admite o mică flamă în dreptul percutorului sau indicatorului.

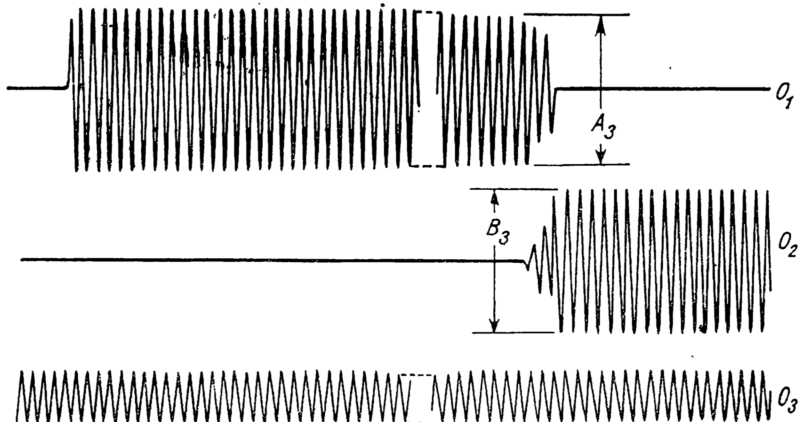


Fig. 10.7. Oscilogramă pentru seria 3 de încercări:
O_1 — curentul întrerupt; O_2 — tensiunea de restabilire; O_3 — tensiunea de referință.

După funcționare, siguranța fuzibilă trebuie să fie în aceeași stare, admițîndu-se mici deranjamente ale suportului, care însă să permită instalarea unui alt element de înlocuire nou, fără a conduce la eventuale încălziri locale suplimentare. Elementul de înlocuire care a lucrat, trebuie să poată fi detașat din suport ca o piesă unică. Percutorul sau indicatorul trebuie să funcționeze total și vizibil.

10.5. Verificarea caracteristicii curent-timp

Această verificare constă dintr-o succesiune de încercări pentru a determina relația între timpul virtual de prearc și curentul prezumat. Siguranța se montează așa cum s-a arătat în fig. 10.2, utilizîndu-se aceeași instalație. Plasînd în soclu elemente de înlocuire, se determină pentru anumite trepte de curent, timpul de prearc. Încercările se vor face astfel încît să se poată obține timpi de prearc cuprinși între 0,01 ... 600 s pentru siguranțele fuzibile asociate și între 0,01 s și 1 h pentru siguranțele fuzibile de uz general.

În timpul încercărilor, curenții trebuie să fie menținuți constanți. Timpii se măsoară fie prin înregistrări, fie cu secundometre.

Rezultatele se reprezintă printr-o curbă avînd curentul în abscisă și timpul în ordonată. Pentru ambele axe se vor utiliza scări logaritmice.

11. Bobine de reactanță

11.1 Nomenclatura probelor

În fabrica constructoare și în condiții de exploatare, bobinele de reactanță (reactoarele) de limitare a curenților de scurtcircuit, de șuntare (de compensare longitudinală a liniilor electrice), de blocaj (de transmiterea informațiilor prin curenți purtători de înaltă frecvență), de tratarea neutrului (prin care curenții de punere la pămînt, în rețelele de medie tensiune cresc de la zeci de amperi pînă în jurul valorii curenților de sarcină sau de suprasarcină, sensibilizînd prin aceasta, schema de protecție), de stingere a arcului electric (bobine Petersen) și/sau transformatoarele de legare la pămînt (sau ansambluri de bobine prin care se realizează neutrul accesibil al unor transformatoare de distribuție) se supun la încercările specificate în tabelul 11.1 [96, 97, 98].

Bobinele de reactanță care fac parte din această familie relativ mare de aparate, deși sînt folosite pe scară largă în sistemul electroenergetic, încă nu sînt standardizate. În lipsa standardului, care să definească condițiile de recepție și metodele de încercare, verificarea experimentală a bobinelor de reactanță se face, de obicei, respectînd condițiile generale expuse în Publicația 289—1968 a CEI și precizările date în normele interne departamentale și în prescripțiile de exploatare (PE 116).

O mare parte din încercările bobinelor de reactanță se execută după procedee similare cu cele aplicate la transformatoare de putere, care sînt descrise detaliat în [58, 95] și ele nu sînt reproduse în lucrarea de față.

Astfel, de exemplu, condițiile impuse încercărilor la transformatoare de putere în Publicația 76 a CEI sînt valabile și pentru determinarea rezistenței ohmice (secțiunea 12, clauza 36), pentru măsurarea pierderilor (secțiunea 12, clauza 39), pentru proba de încălzire (secțiunea 12, clauza 41), pentru verificarea stabilității termice (secțiunea 8, clauza 26) etc., a bobinelor de

Încercările bobinelor de reactanță (normalizate sau în curs de normalizare)

Denumirea încercării	Tipul încercării					
	I	L	T	PF	P	S
Încercarea izolației principale cu tensiune aplicată de frecvență industrială (de ținere, de conturnare, de străpungere)	×	—	×	×	×	—
Încercarea izolației longitudinale cu tensiune de frecvență industrială (frecvență joasă), dacă este posibilă	×	—	×	—	—	—
Încercarea izolației principale și longitudinale la tensiune de impuls cu undă convențională (1,2/50μs)	×	—	×	—	—	—
Idem la tensiune de impuls cu undă normalizată de supratensiuni de comutație (250/2500 μ s)	—	—	—	—	—	×
Determinarea caracteristicilor izolației (rezistența de izolație, coeficienți de absorbție, tgδ etc.)	×	—	×	×	×	—
Măsurarea nivelului descărcărilor parțiale	—	—	—	—	—	×
Măsurarea rezistenței ohmice a bobinei	×	—	×	×	×	—
Măsurarea impedanței totale și/sau reactanței bobinei (ridicarea caracteristicii volt-amper)	×	—	×	—	—	—
Măsurarea pierderilor de sarcină, de mers în gol, suprlimentare etc.	×	—	×	—	—	—
Încercarea de încălzire	—	—	×	—	—	—
Verificarea stabilității termice și dinamice	—	—	×	—	—	—
Ridicarea caracteristicilor de frecvență (impedanță de blocaj, atenuarea semnalului, frecvența proprie)	×	—	×	—	—	—

reactanţă. În afară de aceasta, o serie de probe (ca, de exemplu, încercarea izolaţiei cu tensiune aplicată, determinarea reactanţelor şi a pierderilor suplimentare etc.) în cazul bobinelor de reactanţă se execută după procedee descrise în capitolele 3, 4, 5 şi 12 ale acestei lucrări.

Din acest motiv, în cele ce urmează se expun numai acele probleme specifice prin care se deosebesc încercările diferitelor tipuri de bobine (în ceea ce priveşte metoda de încercare) faţă de procedurile normalizate în cazul transformatoarelor de putere (de exemplu prin STAS 3035 sau Publicaţia 76 a CEI) şi/sau în cazul aparatelor electrice înseriate (de exemplu: transformatoarele de curent).

11.2. Încercările specifice ale bobinelor de reactanţă limitatoare de curent

Bobinele de reactanţă folosite pentru limitarea curenţilor de scurtcircuit sau pentru repartizarea forţată a curenţilor de sarcină în circuitele cu ramificaţii paralele (pentru echilibrarea încărcării căilor de curent) pot să fie de tip uscat sau de tip scufundat în ulei, cu circuitul magnetic fără fier sau cu fier (în circuit închis sau deschis), cu sau fără ecran magnetic sau electromagnetic.

Solicitările acestor bobine în condiţiile exploatării în general sînt similare cu cele ale aparatelor electrice montate în serie în reţelele electrice (aparate de comutaţie,de linie, transformatoare de curent) şi în consecinţă între metodele de încercare ale acestor aparate este o similitudine aproape perfectă.

11.2.1. Încercarea stabilităţii termice şi dinamice

La concepţia şi la experimentarea acestor tipuri de bobine trebuie avute în vedere totuşi şi unele aspecte particulare:

a) datorită fluxului de inducţie mutuală şi de scăpări, solicitările termice (de lungă şi de scurtă durată) şi mecanice (electrodinamice) ale unei bobine monofazate se deosebesc în mod esenţial de cele ale bobinei trifazate;

b) solicitările aceloraşi bobine în montaj trifazat, în reţelele cu neutrul izolat, se deosebesc fundamental de cele ale bobinelor din reţelele cu neutrul legat efectiv la pămînt;

c) la evaluarea durităţii schemelor de încercare a bobinelor menţionate, impedanţa internă a sursei şi raportul acesteia faţă de impedanţa bobinei trebuie să fie luată în considerare, în mod obligatoriu.

Astfel, de exemplu, este ştiut că la dimensionarea şi încercarea bobinetor de reactanţă serie pentru regim de scurtcircuit se ia ca bază valoarea curenlului de scurtcircuit trifazat ($3\ F$), creat de o sursă de tensiune simetrică, trifazată. În cazul bobinelor de reactanţă care funcţionează în montaj trifazat, în reţele cu neutrul legat efectiv la pămînt, are loc o suprasolicitare a bobinei datorită faptului că $X_0 \neq X_1$ (datorită fenomenului de inducţie mutuală dintre faze) şi din cauză că

$$I_{FN} > I_{3F},$$

unde I_{FN} este curentul de scurtcircuit monofazat, care în anumite condiţii poate să fie mai mare decît curentul de scurtcircuit trifazat I_{3F}. În astfel de

cazuri este necesar ca printre garanțiile fabricii constructoare, să se regăsească și valorile lui X_0 și I_{FN}.

Dar chiar în cazul verificării bobinelor menționate, conform acestor garanții, pot să apară surprize (ca de exemplu avaria bobinelor de reactanță de

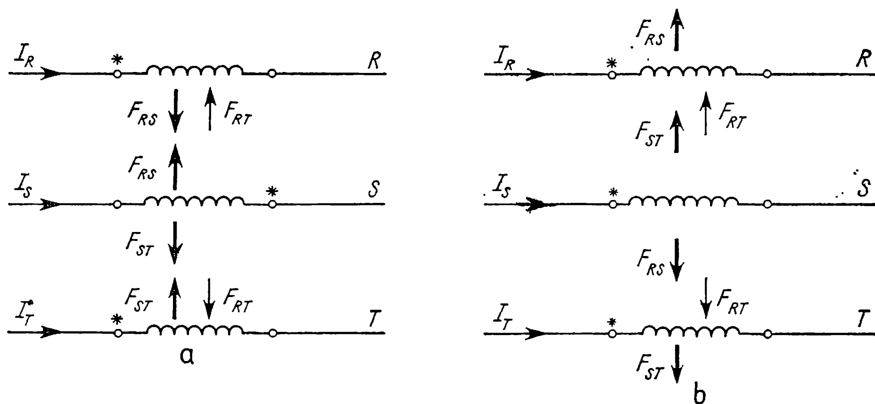


Fig. 11.1. Forțele de interacțiune dintre bobine la scurtcircuite trifazate (3*F*) în cazul: *a* — inversării polarității (sau bobinării în sens invers) bobinei din mijloc (montaj uzual); *b* — cele trei bobine au sens de bobinare și polarități identice.

la CET București-Sud), care nu-și pot găsi explicația în neglijențele de fabricație sau de montaj. Avaria lor poate să aibă loc din cauza unor suprasolicitări dinamice și/sau termice ale bobinelor datorită: scurtcircuitului bifazat (care în mod normal nu se ia în considerare, deoarece curentul de scurtcircuit bifazat este sensibil mai mic decît cel trifazat) sau datorită particularităților rețelei și/sau scurtcircuitului, așa cum se vede în fig. 11.1, 11.2 și 11.3.

Din figurile respective, rezultă că deși curentul de scurtcircuit trifazat este considerabil mai mare decît cel bifazat, forța care acționează pe suportul izolant al bobinelor în cazul scurtcircuitului bifazat poate depăși de 1,5 ori forța corespunzătoare la încercarea bobinei în regim trifazat. Evident că forțele interioare (între spire, straturi, galeți etc.), care sînt proporționale cu I^2 vor fi considerabil mai mari la încercarea trifazată [38].

Așa stau lucrurile cînd $I_{3F} > I_{2F}$. Ori în practică curenții de scurtcircuit asimetric pot să fie la fel de mari sau chiar să depășească valoarea I_{3F} așa cum rezultă și din fig. 11.3 reprodusă după VDE 0102 (Teil 1), care dă multiplicitatea curenților de scurtcircuit asimetrici (2 *F* — scurtcircuit bifazat fără pămînt; 2 *FN* — idem cu pămînt, *FN* — scurtcircuit monofazat) față de valoarea de referință a curentului de scurtcircuit trifazat (3 *F*).

Din diagramă rezultă că:

a) În cazul legării masive la pămînt a neutrelor transformatoarelor raportul $Z_2/Z_0 > 1$, iar în condițiile uzuale ($Z_2/Z_1 = 0,9 \dots 1$) curentul de scurtcircuit monofazat poate să fie cu 5 ... 30% mai mare decît cel trifazat, adică

$$I_{FN} = (1,05 \dots 1,3)\ I_{3F}.$$

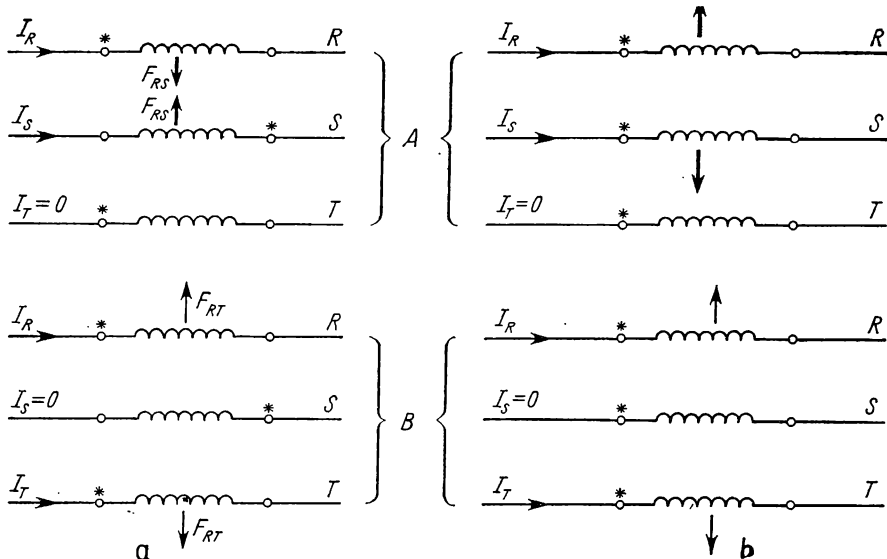


Fig. 11.2. Forțele de interacțiune dintre bobine la scurtcircuite bifazate (2*F*) în cazurile: *A* — curentul de scurtcircuit străbate fazele adiacente; *B* — curentul de scurtcircuit străbate fazele laterale.

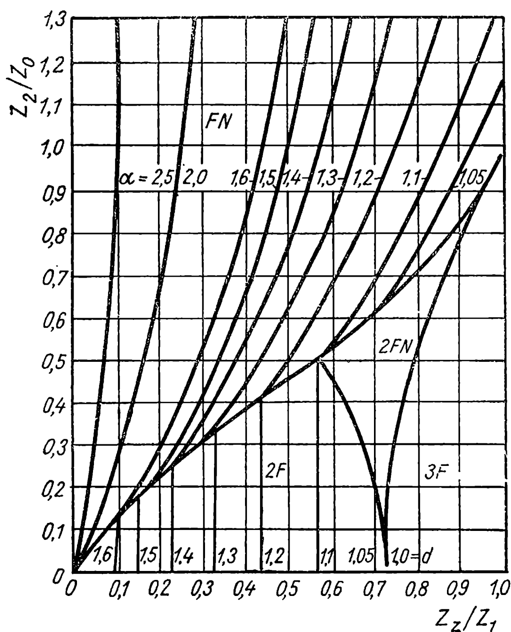


Fig. 11.3. Diagrama valorilor relative ale curenților de scurtcircuit asimetrici față de valoarea curentului de scurtcircuit simetric I_{3F} în funcție de raportul Z_2/Z_0 și Z_2/Z_1.

b. În cazul bobinelor de reactanță legate la barele centralelor (generatoarelor sincrone de puteri mari), unde $Z_2 / Z_1 \ll 1$ (acest raport de regulă este egal cu 0,1 ... 0,2) curentul de scurtcircuit bifazat este de circa 1,5 ori mai mare decît cel trifazat. Rezultă că solicitările interne, electrodinamice şi termice, care sînt proporționale cu pătratul curentului, în acest caz pot chiar să depăşească pe acelea corespunzătoare scurtcircuitului trifazat luat ca referință la dimensionarea şi încercarea bobinelor.

Din acest punct de vedere cele mai periculoase regimuri au loc în cazul dublelor puneri la pămînt (în rețele cu neutru izolat) ilustrate în fig. 11.4, la care nu rezistă majoritatea covîrşitoare a bobinelor de reactanță încercate în regim trifazat sau în regim monofazat, asigurînd curenți de stabilitate termică și dinamică garantați în mod uzual de fabrica constructoare. Din cele de mai sus rezultă, că încercările bobinelor de reactanță trebuie să fie conduse cu maximum de circumspecție de către experimentator, deoarece reuşita probelor sau compromiterea construcției bobinei de reactanță investigate depinde în esență de schema de încercare utilizată.

Afirmațiile de mai sus sînt valabile în primul rînd în cazul încercării bobinelor de reactanță în condițiile sistemului electroenergetic, la care se apelează deseori din cauza puterii foarte mari necesare pentru încercarea acestor aparate (datorită impedanței lor interne relativ mici, comparabile cu aceea a transformatoarelor de putere).

În afară de verificarea stabilității termice și dinamice, încercarea în schemă trifazată, bifazată sau monofazată a bobinelor (sau a ansamblului de bobine) reprezintă singura modalitate de determinare exactă a valorii impedanței, corespunzătoare curentului de scurtcircuit. Cunoaşterea acestei mărimi este importantă, mai ales în cazul bobinelor cu miez de fier sau cu ecrane magnetice.

În timpul probei de scurtcircuit brusc, la care se verifică rezistența mecanică a construcției, bobinei de reactanță i se aplică două șocuri de curent de durată scurtă de 0,2 s (după Publicația 289 a CEI). La primul din aceste şocuri componenta aperiodică a curentului trebuie să fie astfel reglată (prin conectarea în faza corespunzătoare a tensiunii) încît şocul de maxim (primul vîrf) să fie de $1{,}8\sqrt{2}$ ori valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit stabilizat.

La încercarea bobinelor de reactanță în montaj trifazat este indicat să se facă verificarea ansamblului în toate regimurile critice, descrise anterior, reglînd componenta aperiodică la o valoare convenabilă ($1{,}8\sqrt{2}$ sau pentru o valoare inferioară, dacă din motive economice beneficiarul nu-și poate permite un plus de fiabilitate). În orice caz încercările trifazate trebuie să fie realizate cu componenta aperiodică maximă în curentul fazei de mijloc (primul şoc) și în curentul fazei laterale (cel de al doilea șoc).

Rezistența mecanică a bobinei se consideră că este satisfăcătoare dacă în urma probelor de scurtcircuit ea nu și-a schimbat impedanța și rezistă la 75% din tensiunea de încercarea (nivelul de ținere) impusă (criteriu CEI).

Verificarea stabilității termice se efectuează trecînd prin bobina de reactanță curenți de durată mai lungă (conform celor specificate în Publicația 76 CEI secțiunea 8, clauza 26) sau procedînd conform indicațiilor din [95] pentru transformatoare de putere.

Schemele de înregistrare a curenților și a tensiunilor sînt identice cu cele date în capitolele 4 și 7.

În cazuri speciale (cu condiția existenței unei înțelegeri dintre furnizor și beneficiar) se permite executarea probei de stabilitate termică la curenți

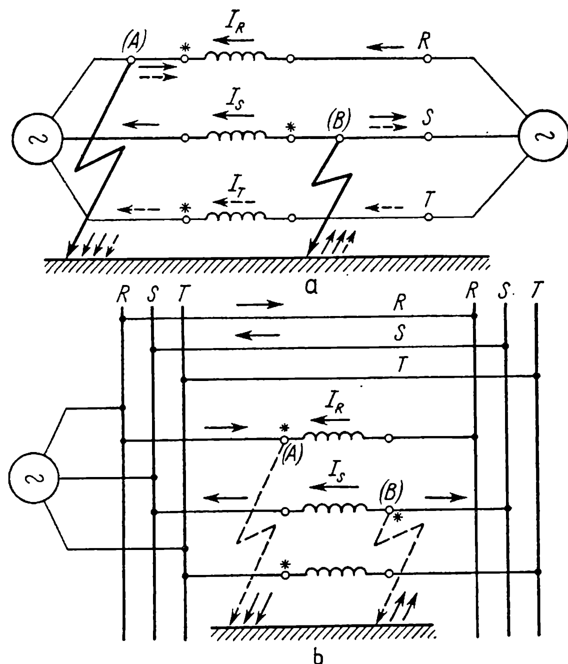


Fig. 11.4. Curenții care străbat bobinele de reactanță în cazul scurtcircuitului cu dublă punere la pămînt într-o rețea radială (*a*) și buclată (*b*), în care solicitările mecanice pot să atingă valori maxime (depășind solicitările corespunzătoare în regimul scurtcircuitului trifazat).

mai mici, dar de durată mai mare. În acest caz însă curentul este și trebuie să aibă o valoare suficientă pentru saturarea miezului şi a ecranului magnetic (evident dacă ele există).

11.2.2. Verificarea izolației

Izolația principală a bobinelor de reactanță se verifică prin procedee simple, descrise la capitolul 3, între înfășurări și masă și între fazele adiacente.

Verificarea *izolației longitudinale*, în schimb, este o problemă dificilă. Spre deosebire de transformatoarele de curent unde această probă poate fi executată prin excitarea în gol a uneia din înfășurări, la bobinele de reactanță, solicitări reale dintre spirele înfășurării se pot crea numai prin curenți mari de scurtcircuit, care se pot obține numai în laboratoarele cu cele mai mari puteri. În lipsa acestora, verificarea izolației longitudinale se execută cu unde

de impuls convenţionale (1,2/50 μs) sau cu unde lungi (250/2500 μs). Defectul în izolaţie se identifică după modificarea curentului de şoc absorbit de bobină. Pentru ilustrare în fig. 11.5 se dă schema echivalentă a bobinei astfel încercate, subdivizate în spire, straturi sau galeţi (elemente componente egale).

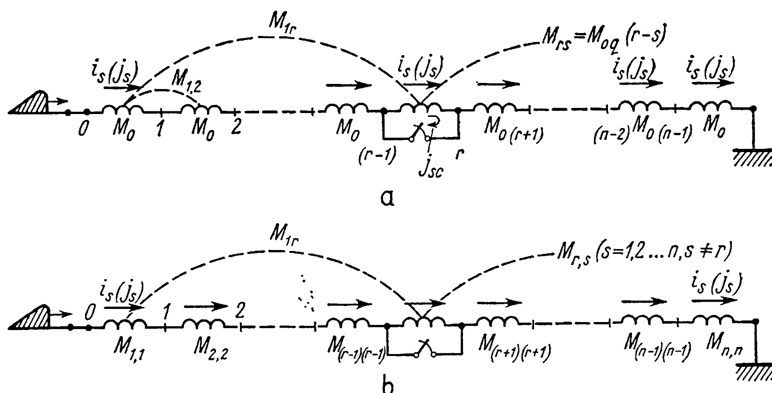


Fig. 11.5. Schema echivalentă a unei bobine de reactanţă în regim staţionar (cvasistaţionar), la aplicarea unui impuls de tensiune pe una din borne: *a* — înfăşurare omogenă; *b* — înfăşurare neomogenă.

La una din bornele bobinelor se aplică o tensiune de impuls avînd expresia următoare

$$U(t) = U_0(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \tag{11.1}$$

unde valorile lui U_0, α şi β depind de mărimea şi forma undei de impuls aplicate.

Defectul de izolaţie poate fi pus în evidenţă prin urmărirea variaţiei componentei cvasistaţionare a curentului absorbit de bobină (curentul de şoc) de la generatorul de impuls.

Curentul de şoc, în cazul bobinei fără defect, i_s — se determină din sistemul următor de ecuaţii:

$$U(t) - u_1 = M_0 \frac{d}{dt} i_s \sum_{k=1}^{k=n} q^{|k=1|}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$u_{r-1} - u_r = M_0 \frac{d}{dt} i_s \sum_{k=1}^{k=n} q^{|k-r|} \tag{11.2}$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$U_{n-1} - 0 = M_0 \frac{d}{dt} i_s \sum_{k=1}^{k=n} q^{|s-n|}$$

În cazul bobinei la care s-a scurtcircuitat elementul r (scurtcircuit între nodurile $r - 1$ și r) curentul de șoc j_s se va putea determina dintr-un sistem de ecuații similar și anume:

$$U(t) - v_1 = M_0 \frac{d}{dt} j_s \left[\sum_{k=1}^{k=r-1} q^{k-1} + \sum_{k=r+1}^{k=n} q^{|k-1|} \right] - M_0 q^{|r-1|} \frac{d}{dt} j_{sc}$$

. . . .

$$v_{r-2} - v_{r-1} = M_0 \frac{d}{dt} j_s \left[\sum_{k=1}^{k=r-1} q^{|k-(r-1)|} + \sum_{k=r+1}^{k=n} q^{|k-(r-1)|} \right] - M_0 q \frac{d}{dt} j_{sc}$$

$$v_{r-1} - v_r = 0 = M_0 \frac{d}{dt} j_s \left[\sum_{k=1}^{k=r-1} q^{|k-r|} + \sum_{k=r+1}^{k=n} q^{|k-n|} \right] - M_0 \frac{d}{dt} j_{sc} \qquad (11.3)$$

$$v_r - v_{r+1} = v_{r-1} - v_{r+1} = M_0 \frac{d}{dt} j_s \left[\sum_{k=1}^{k=r-1} q^{|k-(r+1)|} + \sum_{k=r+1}^{k=n} q^{|k-(r+1)|} \right] - M_0 q \frac{d}{dt} j_{sc}$$

. . . .

$$v_{n-1} = M_0 \frac{d}{dt} j_s \left[\sum_{k-1}^{k=r-1} q^{|k-n|} + \sum_{k=r+1}^{k=n} q^{|k-n|} \right] - M_0 q^{|r-n|} \frac{d}{dt} j_{sc}$$

În sistemul de ecuații (11.2) și (11.3) cu $u_1 \ldots u_{n-1}$ și $v_1 \ldots v_{n-1}$ s-au notat potențialele nodurilor schemei din fig. 11.5 pentru bobina sănătoasă, respectiv cu defect. Funcția inductivității mutuale s-a aproximat după relația cunoscută

$$M = M_0 \, q^{|k-s|} \qquad (11.4)$$

în care: M_0 este inductivitatea proprie a elementului din schemă;
$q < 1$ — coeficient subunitar, caracteristic pentru o construcție de bobină dată;
k și s — numărul de ordine al elementelor cuplate inductiv;
j_{sc} — curentul din spira scurtcircuitată, care se elimină din sistemul de ecuații (11.3).

Sensibilitatea metodei de defectoscopie se poate evalua prin diferența acestor curenți

$$S = \frac{j_s - i_s}{i_s} 100 \, [\%]. \qquad (11.5)$$

Sensibilitatea metodei depinde de locul elementului scurtcircuitat şi de parametrul q, aşa cum se vede şi în fig. 11.6.

Din figură rezultă că sensibilitatea metodei este maximă la detectarea unui scurtcircuit din zona de mijloc a înfăşurări şi este mai bună dacă q are o valoare mai mare (cuplajul magnetic dintre spirele, galeţii sau straturile înfăşurării este mai intim).

Sensibilitatea metodei se poate îmbunătăţi prin derivarea semnalului de curent, aşa cum s-a procedat în [96], folosind schema de încercare din fig. 11.7. Trebuie menţionat însă că schemele bazate pe derivarea semnalului de curent nu întotdeauna sînt suficient de stabile. Din acest motiv semnalarea defectului prin distorsionarea curbei di/dt — se consideră concludentă dacă se repetă cel puţin la trei şocuri succesive.

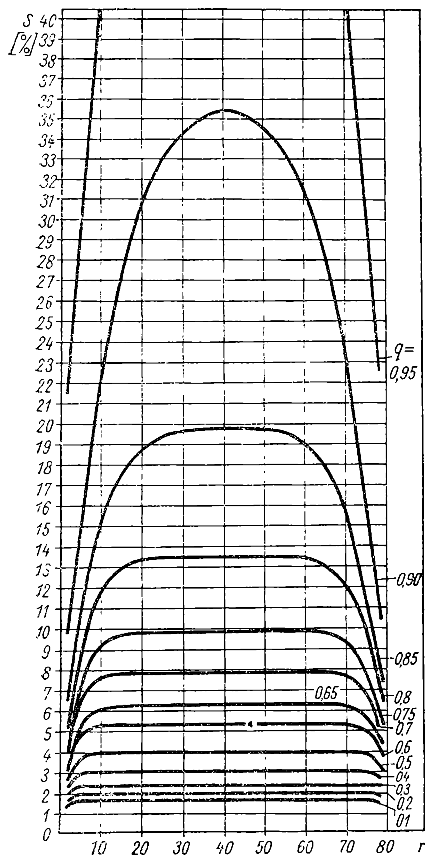


Fig. 11.6. Variaţia sensibilităţii schemei de defectoscopie la o înfăşurare divizată în 90 galeţi în funcţie de locul defectului r şi de parametrul q.

Rezistenţa ohmică din schemă R_1 şi constanta de timp $T_L = \frac{L}{R_1}$ trebuie să fie corelate cu rezistenţe R_2 şi constanta de timp a circuitului de derivare $T_c = R_c C$, astfel ca să se satisfacă condiţiile:

$$\frac{1}{T_C} \gg \frac{1}{T_L} > a \qquad (11.6)$$

şi

$$T_L \gg T_C. \qquad (11.7)$$

Pentru scopurile practice se obţin rezultate satisfăcătoare, dacă

$$T_C < 0{,}05\ T_L \qquad (11.8)$$

sau

$$C < \frac{0.05\ L}{R_2\ R_1}, \qquad (11.9)$$

unde R_1 nu poate să depăşească 500 Ω (conform CEI).

Trebuie menţionat că încercarea de impuls este considerată ca probă individuală, dacă nu există altă posibilitate de încercare a izolaţiei longitudinale a bobinelor. Nivelul tensiunii de impuls aplicate, conform prevederilor CEI (Publicaţia 289) este specificată în tabelul 11.2.

Tensiunile de încercare pot fi reduse faţă de cele specificate în tabel, dacă în funcţionare normală bobina de reactanţă este şuntată cu un descărcător. În acest caz tensiunea de încercare trebuie să fie cel puţin cu 30% mai ridicată faţă de nivelul de protecţie al descărcătorului.

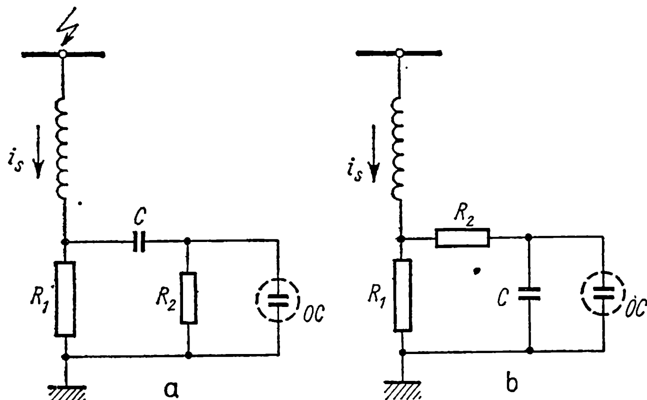


Fig. 11.7. Scheme de investigare defectoscopică a izolației longitudinale a bobinei de reactanță de limitare a curenților de scurtcircuit bazată pe derivarea (*a*) respectiv integrarea (*b*) semnalului curentului de șoc.

Tabelul 11.2

Nivelul de izolație a bobinelor de reactanță conform CEI (Publicația 289)

A. Pentru tensiuni medii

Tensiunea maximă de serviciu a rețelei kV_{ef}	Tensiunea de încercăre la impuls kV_{max}	Tensiunea de încercare la frecvență industrială, kV_{ef}	
		seria 1	seria 2
3,6	45	16	21
7,2	60	22	27
12	75	28	35
17,5	95	38	45
24	125	50	55
36	170	70	75
52	250	95	85
72,5	325	140	—

B. Pentru tensiuni înalte și foarte înalte

Tensiunea maximă de serviciu a rețelei kV_{ef}	Tensiunea de încercare la impuls, kV_{max}		Tensiunea de încercare la frecvență industrială, kV_{ef}	
			Seria 1	Seria 2
	Izolație plină	Izolație redusă	Izolație plină	Izolație redusă
100	450	380	185	150
123	550	450	230	185
145	650	550	275	230
170	750	650	325	275
245	1050	900	460	395
300	—	1050	—	460
420	—	1425	—	630

11.3. Încercările specifice ale bobinelor de blocaj

În afară de încercările analizate în subcap. 11.2 bobinele de blocaj se supun la o serie de probe specifice, expuse în cele ce urmează.

11.3.1. Măsurarea impendanței de blocaj

Impedanța de blocaj a unei bobine acordate conform fig. 11.8 se măsoraă cu o schemă în punte de curent alternativ care permite determinarea atît a reactanței inductive, cît și a rezistenței active.

Schema de principiu a instalației de măsurare este indicată în fig. 11.9.

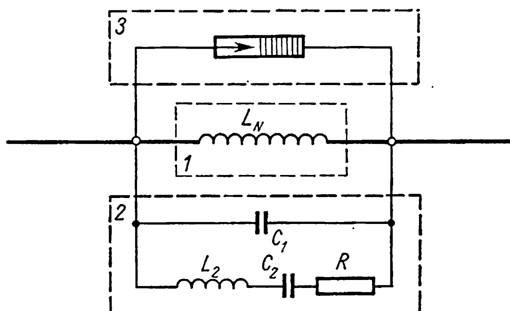


Fig. 11.8. Bobina de blocaj *1* cu circuit de acord *2* și dispozitiv de protecție *3*.

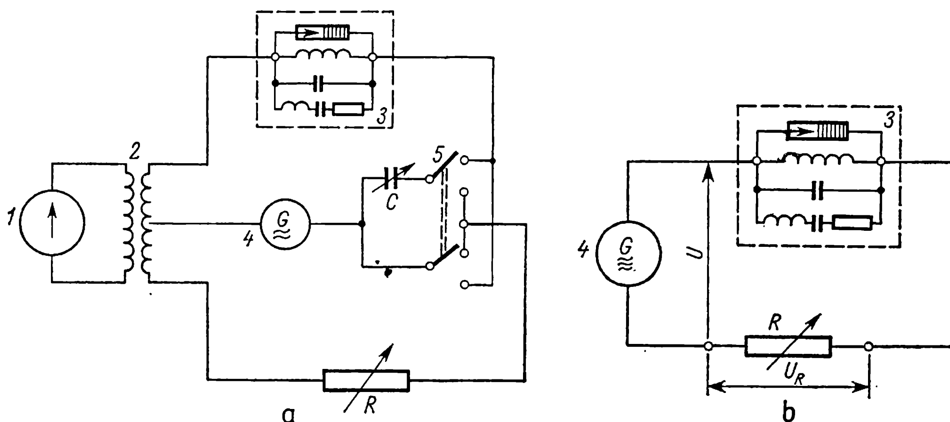
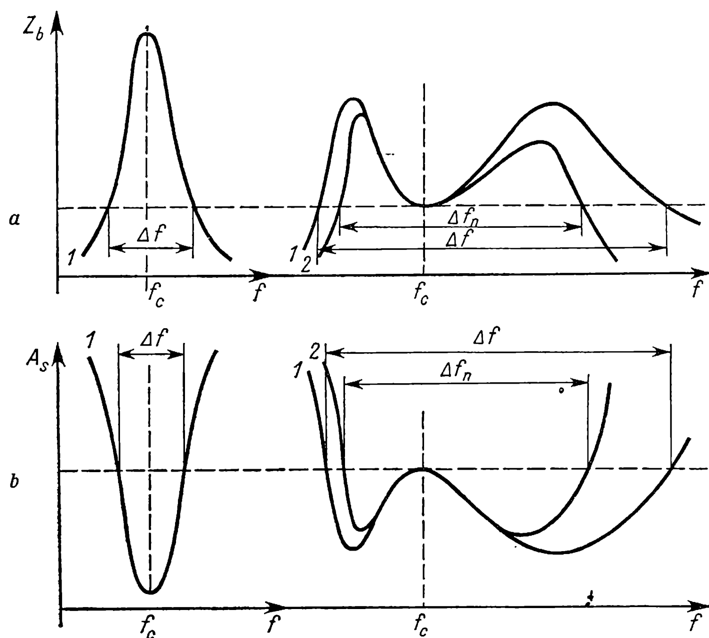


Fig. 11.9. Schema generală a instalației de măsurare a impendanței de blocaj (*a*) și aceeași schemă simplificată pentru determinarea impendanței de blocaj în cazul acordării **bobinei** la o singură frecvență (*b*) sau pentru rezonanță simplă:
1 — indicator de zero; *2* — transformator; *3* — bobină de blocaj; *4* — generator de frecvență variabilă; *5* — comutator.

În cazul bobinei de blocaj realizată pentru o simplă rezonanță (pentru o singură frecvență de rezonanță) recomandările CEI (Document 57 — Bureau Central 3) propun determinarea numai a frecvenței de acord și măsurarea impedanței conform schemei simplificate din fig. 11.9, *b*. Această metodă nu dă valori exacte decît în cazul cînd impedanța de blocaj are caracter pur rezistiv. La frecvență de acord căderea de tensiune este minimă. Pentru stabilirea acestei frecvențe se aplică o tensiune constantă U și se variază valoarea rezistentei R. Cînd căderea de tensiune U_R se egalează cu $1/2\ U$, impedanța



Fih. 11.10. Variația impendanței de blocaj (*a*) și a atenuării (*b*) în funcție de frecvență curenților purtători, în cazul blocajului bazat de rezonanță simplă (figurile din stînga) și în cazul blocajului în bandă: (figurile din dreapta):

Δf — lățimea benzii de blocaj; *1* — lățimea benzii Δf de blocaj (fără compensație); *2* — lățimea benzii de blocaj nominale (cu compensarea componentei reactive a impendanței de blocaj).

de blocaj va fi egală cu R. La probă se recomandă să se utilizeze un generator de frecvențe variabile, avînd o impedanță internă mică.

În cadrul probelor de tip se ridică în mod obligatoriu și curba de blocaj reprezentînd variația impedanței de blocaj în funcție de frecvența curenților purtători (fig. 11.10).

Valoarea minimă a impedanței de blocaj egala cu componenta rezistivă a impedanței se numește *impedanța nominală* (această mărime este caracteristică numai la circuite acordate).

11.3.2. **Măsurarea atenuării semnalului transmis**

Pentru măsurarea atenuării semnalului transmis prin curenți purtători se utilizează schema din fig. 11.11. Atenuarea se va obține din următoarele expresii:

$$A_s = \ln \frac{U_1}{U_2} = \ln \left(1 + \frac{Z_L}{2Z_b}\right) \text{ [Np]} \tag{11.10}$$

sau

$$A_s = 20 \log_{10} \frac{U_1}{U_2} \text{ [dB]} \tag{11.11}$$

unde: Z_b este impedanța de blocaj, în Ω;

Z_L — impedanța caracteristică a liniei (circa 450Ω pentru 110 kV și 220kV; 350 Ω pentru 400 kV);

U_1 — tensiunea între bornele *1* și *2* cînd comutatorul S_1 este deschis;

U_2 — aceeași tensiune cînd comutatorul S_1 este închis, iar comutatorul S_2 se află pe poziția *3—4*.

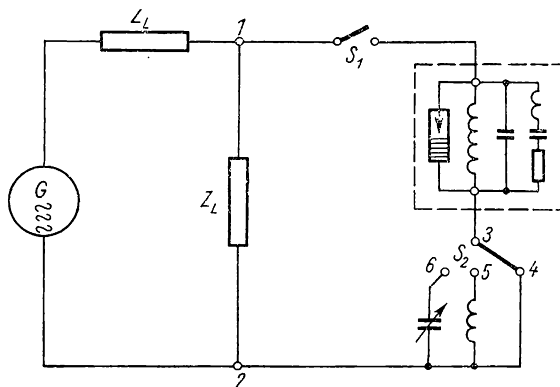


Fig. 11.11. Schema de măsurare a atenuării semnalului prin bobina de blocaj.

Pentru măsurarea atenuării nominale a semnalului A_{sn} componenta reactivă a impedanței trebuie să fie compensată, mutînd comutatorul pe pozițiile *3—5* sau *3—6*. Capacitatea *C* sau inductivitatea *L* trebuie să fie și ele reglate în mod corespunzător.

11.3.3. **Determinarea frecvențelor proprii ale bobinelor de blocaj**

La apariția pe una din bornele bobinei de blocaj a unui semnal modulat de înaltă frecvență, în bobină apar oscilații libere care duc la distorsionarea semnalului transmis prin curenți purtători de înaltă frecvență. Oscilațiile libere din bobina de blocaj au un caracter complex și pot fi reprezentate ca

suma unor unde staționare spațiale de lungimi diferite (fig. 11.12), cărora le corespund armonici de timp de frecvențe (perioade) diferite.

Atunci cînd capătul opus al bobinei de blocaj (borna dinspre stația electrică) se poate considera pus la pămînt (ca de exemplu în cazul unor capacități mari concentrate pe barele stației) oscilațiile libere (numai primele două

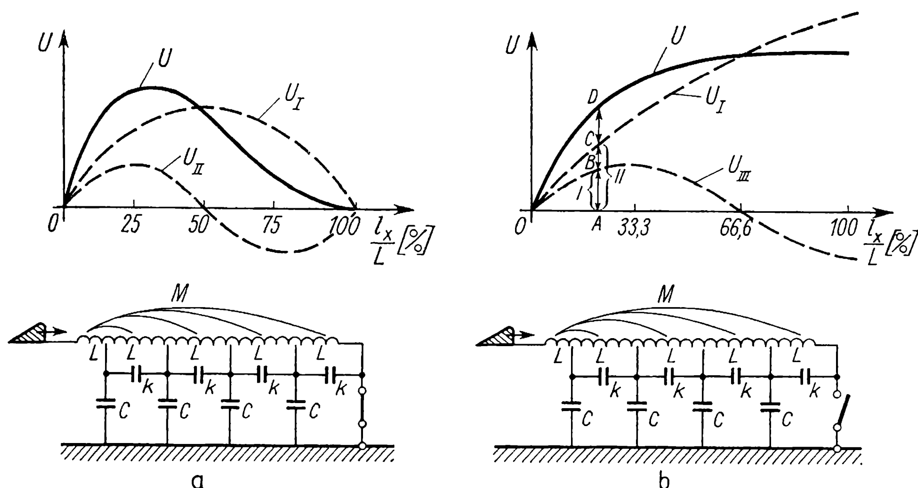


Fig. 11.12. Descompunerea repartiției potențialelor de-a lungul înfășurării bobinei de blocaj într-un spectru de unde staționare în cazul legării (*a*) sau nelegării (*b*) la pămînt a capătului de bobină.

armonici de spațiu) pot fi reprezentate prin oscilațiile undelor staționare U_{I} (armonica fundamentală) și U_{II} (armonica a doua). Pentru simplificare armonicile superioare se neglijează. Armonicile U_{I} și U_{II} s-au obținut prin descompunerea curbei de repartiție a semnalului de înaltă frecvență (repartiția valorilor de amplitudine) de-a lungul înfășurării. Precum se vede din figură, nodurile primei armonici se află la capetele bobinei și deviația maximă la mijlocul înfășurării (50%). Armonica a doua, pe lîngă nodurile la capetele bobinei, mai are un nod și la mijloc. Deviațiile maxime în acest caz se află la 25 respectiv 75% din lungimea totală a bobinei.

Fenomenul se poate descompune în unde staționare și în cazul cînd borna bobinei de blocaj, aflată înspre stația electrică, este lăsată în gol (adică valoarea capacității la pămînt a barelor este relativ mică). În acest caz, fenomenul poate fi modelat printr-un spectru de armonici impare. În figură s-au luat în considerație pentru simplificare numai armonica fundamentală și armonica a treia. Evident că în ambele cazuri vor fi prezente și armonicile superioare, reprezentînd spectrul frecvențelor proprii ale bobinei.

La apariția pe bornele dinspre linie a bobinei de blocaj a unui semnal sinusoidal, cu o frecvență (perioadă) dată, poate să aibă loc un fenomen de rezonanță pentru una din armonicile acestui spectru. Amplitudinea oscilațiilor libere are loc în acel punct al bobinei (sau nod al schemei echivalente) în care valoarea de vîrf a undei staționare este maximă conform figurii.

La determinarea frecvențelor proprii ale bobinelor de blocaj se folosește întocmai acest fenomen fizic. Pentru acest scop, pe una din bornele bobinei de blocaj se aplică o tensiune sinusoidală de frecvență reglabilă și se măsoară tensiunea (potențialul) în punctele înfășurării cu deviație maximă a

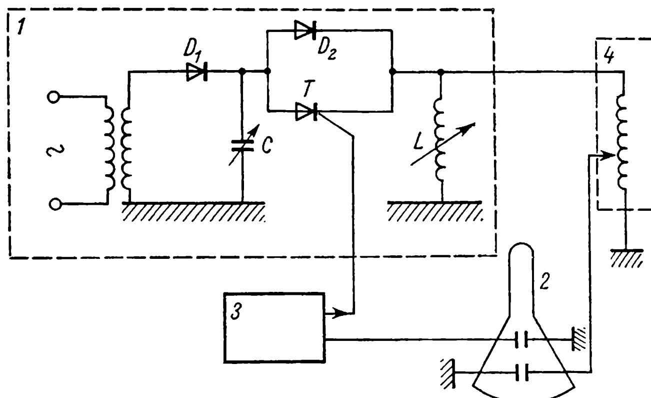


Fig. 11.13. Schema unei instalații de determinare a frecvențelor proprii la bobine.

armonicii (undelor staționare). Perioada oscilației forțate, pentru care tensiunea (potențialul) punctului respectiv este maximă, va fi egală cu perioada armonicii corespunzătoare a oscilațiilor libere.

Instalația de încercare folosită în acest scop este reprezentată în fig. 11.13, fiind compusă dintr-un generator de oscilații slab amortizate *1*, un oscilograf catodic *2* și un generator de baleiaj *3*.

Generatorul de baleiaj dă impulsuri periodice (de 50 ori într-o secundă) în forma unor dinți de fierăstrău pe plăcile de deviere pe orizontală a spotului oscilografului catodic și impulsuri de comandă a tiristorului sau a tiratronului *T* a generatorului de frecvențe reglabile. După deblocarea tiristorului, condensatorul *C*, în prealabil încărcat, se descarcă pe inductanța *L* prin oscilații amortizate cu perioada $T \approx 2\pi\sqrt{LC}$. Parametrii *L* și *C* ai circuitului oscilant se aleg astfel, încît bobina de blocaj să nu reprezinte pentru el o sarcină prea mare și în consecință obiectul examinat să nu modifice perioada *T* sau să nu mărească atenuarea oscilațiilor în circuit.

Armonica fundamentală a oscilațiilor libere, la conexiunea bornei dinspre stație a bobinei de blocaj pusă la pămînt, se obține prin detectarea acelei frecvențe a semnalului pentru care la mijlocul bobinei se obține o deviație maximă pe ecranul oscilografului catodic. Armonica a doua în același regim de funcționare se obține la acel semnal pentru care în nodul aflat la 25% din lungimea totală a înfășurării se obține deviația maximă a spotului pe ecran ș.a.m.d. Armonica fundamentală a oscilațiilor libere, în cazul bobinei cu borna dinspre stație nelegată la pămînt, se obține în aceleași condiții, detectînd

potențialul maxim la capătul bobinei (la nodul de 100%). Investigațiile frecvențelor proprii trebuie să se facă pentru toate armonicile care prezintă interes din punct de vedere al transmiterii informațiilor prin curenți purtători (pentru toate canalele sistemului de telecomunicație).

11.4. Încercările specifice ale bobinelor de reactanță de șuntare

Bobinele de reactanță de șuntare se construiesc pentru puteri mari (zeci și sute de Mvar), cu sau fără miez de fier, de tip uscat sau de tip imersat în ulei, cu sau fără ecran magnetic sau electromagnetic. Procedeele și schemele de încercare sînt identice sau foarte asemănătoare cu cele practicate în cazul transformatoarelor de putere, detaliat expuse în [58, 95] și în partea a II-a a cărții.

O mare parte din aceste probe (de exemplu: proba de măsurare a pierderilor și impedanței la curent normal, verificarea izolației longitudinale la tensiune de frecvență industrială, proba de încălzire) necesită instalații de încercare de puteri deosebite. Principala probă a bobinelor de șuntare, prin care se verifică izolația lor principală și longitudinală, este proba la impuls de tensiune (cu impuls convențional și cu impuls de supratensiuni de comutație) la care se supun de obicei, toate exemplarele fabricate. În cadrul probelor de tip se verifică și ponderea armonicii a treia a curentului, valoarea căreia nu trebuie să depășească 3% din valoarea de vîrf a armonicii fundamentale.

11.5. Încercările specifice ale bobinelor de tratare a neutrului la transormatoare

Bobinele de reactanță monofazate și trifazate și bobinele de stingere a arcului electric intermitent se supun la încercări similare ca și transformatoarele de putere. Metoda de efectuare a probelor este în general aceeași cu unele particularități. Astfel, de exemplu, la măsurarea impedanței și a curentului absorbit (la ridicarea caracteristicii volt-amper) a bobinelor de stingere trebuie să fie verificat întregul domeniu de reglaj. La bobinele de reactanță prin care se sensibilizează protecția de punere la pămînt și pentru care durata nominală de funcționare nu depășește 10 s, proba de încălzire de lungă durată nu se execută în general.

Încercarea de impuls a bobinelor, care se reacordează la neutrul transformatoarelor, n-are sens să fie făcută cu unde prea abrupte (de exemplu undă cu frontul 1,2 μs). Din acest motiv CEI recomandă ca această încercare să fie efectuată cu un impuls avînd a durată convențională a frunții de 10 μs.

12. Transformatoare de măsură și de protecție

12.1. Nomenclatura probelor

La fabrica constructoare şi în condiţiile exploatării transformatoarele de protecţie şi de măsură sînt supuse cel puţin la încercările specificate în tabelul 12.1 [99—103] Prin încercările respective se verifică izolaţia, calea de curent, circuitul magnetic şi ansamblul transformatoarelor de curent sau de tensiune, în linii mari în condiţiile generale specificate în cap. 3, 4 şi 5. Evident că, la executarea încercărilor din tabel trebuie să fie respectate condiţiile generale de recepţie cuprinse în STAS 4323 (pentru transformatoare de curent) şi în STAS 4324 (pentru transformatoare de tensiune). În afară de acestea, trebuie să fie respectate condiţiile de recepţie şi de încercare suplimentare, conţinute în norma internă departamentală (NID) a tipului respectiv de transformator de măsură şi/sau de protecţie. Astfel, de exemplu, standardul care reglementează condiţiile de recepţie calitativă a *transformatoarelor de curent* prevede efectuarea următoarelor încercări (probe individuale I şi probe de tip T), indicate într-o succesiune obligatorie:

a) verificarea marcajelor şi a polarităţii (I);

b) încercarea cu tensiunea de frecvenţă industrială a circuitelor secundare, la 2 kV (I);

c) verificarea izolaţiei între spirele înfăşurărilor primare şi secundare (T);

d) determinarea tg δ a izolaţiei principale a înfăşurărilor (I);

e) verificarea erorilor înaintea probelor de tip (I);

f) încercarea izolaţiei principale la tensiunea de încercare de frecvenţă industrială timp de 1 min, în stare uscată (I) şi sub ploaie (T) şi a perturbaţiilor radioelectrice;

g) încercarea izolaţiei principale la impuls de tensiune 1,2/50 μs (T);

h) determinarea rezistenţelor ohmice a înfăşurărilor (T);

i) încercarea la încălzire (T);

j) încercarea la stabilitatea termică şi dinamică (T);

k) reverificarea erorilor de raport şi de unghi în regim nominal după probele de tip (T);

l) determinarea coeficientului de saturaţie (T);

m) reverificarea tg δ după efectuarea probelor de tip (T);

n) la transformatoarele de curent pentru protecţie, în plus faţă de cele menţionate, standardul prevede şi verificarea erorii compuse

$$\varepsilon_c = \frac{100}{I_p} \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (k_n i_s - i_p) \mathrm{d}t} \tag{12.1}$$

unde: k_n este raportul de transformare nominal;

I_p — valoarea efectivă a curentului primar;

i_p şi i_s — valorile instantanee ale curentului primar, respectiv secundar;

$T = \frac{1}{f}$ — perioada oscilaţiei curentului.

Tabelul 12.1

Încercările transformatoarelor de măsură (normalizate sau în curs de normalizare)

Denumirea încercării	Tipul încercării					
	I	L	T	PF	P	S
1	2	3	4	5	6	7
Încercarea izolaţiei principale a circuitelor primare şi secundare cu tensiune aplicată de frecvenţă industrială	×	×	×	(×)	(×)	—
Încercarea izolaţiei longitudinale a circuitelor primare şi secundare la frecvenţă industrială	—	×	×	—	—	—
Încercarea izolaţiei principale şi longitudinale cu tensiune de impuls de 1,2/50 μs (undă plină şi tăiată)	—	—	×	(×)	—	—
Idem cu tensiune de impuls de 250/2500 μs	—	—	—	—	—	×
Încercarea izolaţiei principale cu tensiune înaltă continuă (redresată)	—	—	(×)	×	×	—
Determinarea nivelului descărcărilor parţiale la tensiune de frecvenţă industrială	(×)	×	×	(×)	(×)	—
Determinarea pragului de ionizare la impuls de tensiune	—	—	—	—	—	×

1	2	3	4	5	6	7
Determinarea nivelului de descărcări parţiale la tensiunea înaltă continuă	—	—	—	—	—	×
Determinarea nivelului de perturbaţii radioelectrice	—	—	×	—	—	—
Măsurarea rezistenţei de izolaţie şi determinarea factorului de absorbţie sau a indicelui de polarizare	×	×	×	×	×	—
Determinarea factorului de dispersie	—	—	—	—	—	×
Determinarea tgδ şi a capacităţii izolaţiei	×	×	×	×	×	—
Ridicarea curbelor de ionizare: tg$\delta = f_1(U)$ şi tg$\delta = f_2(t)$	—	—	—	—	(×)	×
Încercarea de încălzire (la curenţi, respectiv tensiuni nominale etc.)	—	—	×	—	—	—
Verificarea erorilor de măsurare	×	×	×	—	—	—
Verificarea comportării în regimul supracurenţilor (respectiv creşterilor de tensiune sau a supratensiunilor temporare)	—	×	×	—	—	—
Verificarea comportării în regim de scurtcircuit (stabilitate termică şi dinamică)	—	—	×	—	—	—
Determinarea parametrilor tranzitorii	—	—	—	—	—	×
Determinarea reactanţei de scăpări a înfăşurării secundare	—	—	—	—	—	×
Determinarea pierderilor suplimentare	—	—	—	—	—	×
Verificarea polarităţii bornelor	×	×	×	×	—	—
Verificarea gradului de protecţie	—	—	×	—	—	—

Notă. Semnificaţia notaţiilor utilizate în tabel este următoarea: X — încercare acceptată de majoritatea constructorilor şi beneficiarilor; (X) — încercare în curs de normalizare; I — încercări individuale; L — încercări de lot; T — încercări de tip; PF — încercări de punere în funcţiune; P — încercări profilactice; S — încercări speciale.

Recomandările internaţionale şi standardele străine (VDE, BS) cuprind o serie de încercări suplimentare pentru atestarea calităţii transformatoarelor de curent (de măsură şi de protecţie), ca de exemplu:

o) determinarea nivelului de descărcări parţiale;

p) ridicarea curbei de magnetizare (caracteristicii volt-amper);

q) determinarea reactanţei de scăpări a înfăşurărilor secundare;

r) determinarea pierderilor suplimentare;

s) încercarea comportării transformatoarelor de curent în regimuri tranzitorii etc..

Majoritatea încercărilor menţionate se practică şi în condiţiile exploatării. În schimb încercările de la punctele: c), g), i), j), k), l), n), r), şi s) se execută de obicei la constructorul transformatoarelor de curent.

Norma internă departamentală aduce precizări suplimentare în ceea ce priveşte metodele de verificare experimentală a diferitelor tipuri de transformatoare de curent în funcţie de particularităţile lor constructive şi funcţionale. Astfel, de exemplu, la seria nouă de transformatoare de curent de tipul CIRSI, NID prevede următoarele probe speciale pentru verificarea izolaţiei:

t) determinarea nivelului de descărcări parţiale în bandă largă (în pC) conform propunerii engleze CEI (document 38-Secretariat-din martie 1971) şi în bandă îngustă (în μV) conform VDE 0414-68;

u) încercarea la îmbătrînire accelerată, la ciclul de descărcări parţiale ridicat la tensiune înaltă;

v) încercarea la unde de supratensiuni de comutaţie;

x) încercarea comportării izolaţiei în condiţiile condensării umezelii conform normativ EdF (HM 071-1281) etc.

Standardul care reglementează condiţiile de recepţie calitativă a *transformatoarelor de tensiune* prevede următoarele încercări (probe individuale şi probe de tip), respectînd succesiunea de mai jos:

a) verificarea marcajelor şi a polarităţii (I);

b) încercarea izolaţiei circuitelor secundare la tensiune de frecvenţă industrială de 2 kV (I);

c) verificarea izolaţiei dintre spirele înfăşurărilor (T);

d) determinarea tg δ şi a capacităţii (I);

e) verificarea erorilor înaintea probelor de tip succesive (T);

f) determinarea curentului de mers în gol (T);

g) verificarea izolaţiei principale (externe şi interne) a înfăşurării primare în stare uscată (I) şi sub ploaie (T) şi determinarea concomitentă a perturbaţiilor radioelectrice (T);

h) încercarea izolaţiei externe şi interne la impuls de tensiune 1,2/50 μs (T);

i) determinarea răspunsului tranzitoriu (T);

j) măsurarea rezistenţei ohmice a înfăşurărilor (T);

k) încercarea la încălzire în regim de lungă durată la sarcină maximă (T);

l) încercarea la încălzire la factorul de tensiune şi durată nominală prescrisă pentru regimul de supratensiuni temporare (T);

m) reîncercarea izolației interne cu 0,8 $U_{înc}$, atunci cînd oscilogramele probei la impuls de tensiune nu sînt concludente (T);

n) reverificarea tg δ și a capacității după efectuarea probelor de tip (T)

o) încercarea circuitului antirezonant la transformatoare de tensiune capacitivă (I);

p) verificarea erorilor înfășurării secundare de măsură (I).

În plus față de acestea, NID a transformatoarelor de tensiune impun verificări suplimentare sau de detaliu. Astfel, de exemplu, NID 2523-69 prevede următoarele verificări ale răspunsului tranzitoriu al transformatoarelor de tensiune capacitive tip TECU de 110, 220 și 400 kV;

q) la punerea bruscă sub tensiune;

r) la modificarea bruscă a sarcinii;

s) la funcționarea eclatorului de protecție;

t) la întreruperea unuia din circuitele secundare.

Beneficiarul principal al acestor aparate în „Normativul de încercări și măsurări de echipamente și instalații electrice la punere în funcție și în exploatare“ vine cu precizări suplimentare privind condițiile de executare a probelor, valori și criterii de control pentru interpretarea rezultatelor obținute și periodicitatea sau prilejul executării încercărilor de punere în funcțiune, profilactice etc.

Metodele de efectuare a încercărilor fac obiectul unor *instrucțiuni speciale de control și de fabricație* (la constructor) sau a unor *fișe tehnologice de executare a încercărilor* (la utilizator).

Încercările comune se efectuează conform indicațiilor din partea a II-a a cărții (capitolul 3, 4 și 5), ținînd cont însă de specificul constructiv și funcțional al acestor aparate. În cele ce urmează, se analizează tocmai acele încercări comune și specifice la care transformatoarele de măsură se deosebesc în mod esențial, în ceea ce privește metoda de executare a probelor, de restul aparatelor electrice de înaltă tensiune.

12.2. Încercările transformatoarelor de curent

În funcționarea normală ($I = 0{,}1-2\ I_N$) transformatoarele de curent nu trebuie să se încălzească peste limitele tolerate de norme, asigurînd totodată clasa de precizie trecută pe etichetă. La aparatele unde curentul de stabilitate termică este cel care predetermină secțiunea conductorului (de exemplu $I_{1s} \geqslant 100\ I_N$) pot fi admise din punct de vedere termic servicii de funcționare de lungă durată la curenți considerabil mai mari decît curentul nominal al aparatului. În cazuri contrare, în schimb, (de exemplu cînd $I_{1s} \leqslant 100\ I_N$), experimentatorul este acela care trebuie să aleagă cele mai precise metode de măsurare a temperaturii căilor de curent, deoarece orice grad de încălzire în plus scurtează în mod inevitabil durata de viață a transformatorului. Clasa de precizie a transformatoarelor de curent se asigură relativ ușor, dacă curentul primar și sarcina secundară se încadrează în limitele impuse de standarde.

În caz contrar, ca de exemplu în cazul alimentării unor circuite cu factor de putere extrem de mic ($\cos \varphi \leqslant 0{,}5$) precizia transformatoarelor de curent trebuie să facă obiectul unor cercetări experimentale aparte.

În regimul supracurenților funcționarea corectă a transformatoarelor de curent este limitată de:

a) încălzirile de scurtă durată sau intermitentă determinate de mărimea și durata supraîncărcării căilor de curent, de temperatura (supratemperatura) inițială, de variația temperaturii mediului ambiant, de frecvența supraîncărcărilor etc.;

b) înrăutățirea erorii de transformare datorită creșterii curentului de magnetizare, ilustrată prin fig. 12.1, în funcțiile $I_s = f_1(I_p)$, $\varepsilon_i = f_2(I_p)$ sau mai ales prin $\varepsilon_c = f_3(I_p)$, prin care se caracterizează nu numai eroarea de curent sau de unghi, ci și eroarea care provine din nesinusoidalitatea formei curentului primar și/sau secundar (la saturația fierului curentul secundar va avea forma curentului primar în cazul sarcinii rezistive crescute, iar în caz general: forma din figura *c* — dacă sarcina secundară este mărită în primul rînd datorită curentului crescut sau forma din figura *d* — cînd sarcina secundară se mărește mai ales din cauza impedanței secundare crescute).

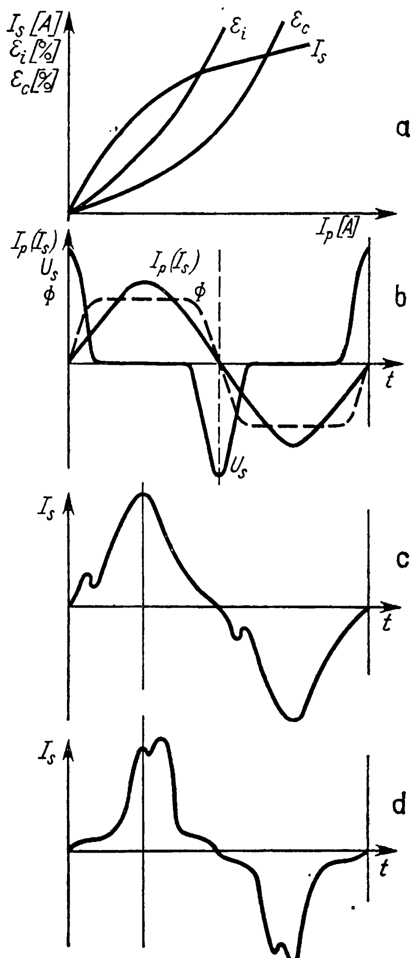


Fig. 12.1. Variația curentului secundar I_s, a erorii de raport ε_i și a erorii compuse ε_c în funcție de valoarea curentului primar (*a*) și variația în timp a curenților, tensiunilor și fluxului principal (*b*, *c* și *d*) la transformatoarele de curent în regimul supracurenților.

Eroarea de transformare în regimul supracurenților și a curenților de scurtcircuit este deosebit de importantă la transformatoarele (circuitele secundare) folosite în scheme de protecție de distanță, unde releul *măsoară* distanța prin împărțirea valorii căderii de tensiune, pînă la locul de defect, cu valoarea cît mai exactă a curentului.

Transformatoarele de curent și de tensiune cu erori inacceptabile în acest regim de funcționare nu asigură o selectivitate corespunzătoare pentru schemele respective de protecție.

În regimul curenților de scurtcircuit funcționarea transformatoarelor de curent este caracterizată în primul rînd prin mărimile și valorile curenților de stabilitate termică și dinamică, adică prin aceleași mărimi care determină și comporta-

rea în regim de scurtcircuit brusc a restului de aparate electrice de înaltă tensiune montate în serie în circuitele electrice. În afară de aceste mărimi, comportarea transformatoarelor de curent în regimul scurtcircuitului din sistem se caracterizează şi prin tensiunea de pe bornele secundare, care în funcţie de particularităţile constructive şi funcţionale ale transformatorului examinat, în acest caz poate să atingă valori comparabile cu tensiunea de funcţionare în gol (cu circuitele secundare deschise), punînd în pericol izolaţia între spirele înfăşurării.

În regimul tensiunii maxime de serviciu şi al supratensiunilor izolaţia transformatoarelor de curent este solicitată în mod similar ca restul aparatelor electrice de înaltă tensiune din sistemul electroenergetic, conform celor specificate în cap. 1.

Particularitatea acestor aparate la solicitările de mai sus constă în impedanţa — serie considerabilă a transformatoarelor de curent faţă de unde abrupte propagate de-a lungul liniei electrice aeriene sau subterane, cînd izolaţia dintre spirele înfăşurării primare este solicitată destul de aspru, dacă aceasta nu se protejează printr-o rezistenţă neliniară sau prin eclatoare de protecţie. Evident, că în regim normal de funcţionare aceste rezistenţe sau eclatoare nu trebuie să aibă influenţă asupra clasei de precizie, iar în regimul supracurenţilor sau a curenţilor de scurtcircuit ele trebuie să suporte căderile de tensiune crescute care apar pe borne, faţă de cea nominală.

În regimul curenţilor homopolari, care apar în cazul punerilor la pămînt, transformatoarelor de curent li se impun condiţii diferite în funcţie de destinaţia lor concretă. Astfel, de exemplu, la transformatoarele homopolare pentru asigurarea sensibilităţii corespunzătoare a protecţiei în circuitele secundare trebuie să apară curenţi de valoare suficient de mare pentru amorsarea protecţiei (în cazul punerilor la pămînt) şi un curent de dezechilibru suficient de mic la funcţionarea lor în alte regimuri (regimul curenţilor nominali, a supracurenţilor şi a curenţilor de scurtcircuit, unde transformatoarele de curent trebuie să satisfacă anumite condiţii de simetrie).

Transformatoarele de curent pot funcţiona şi în *regimuri speciale*, ca de exemplu:

a) în regimul curenţilor mici ($I \leqslant 0{,}1\ I_N$), unde datorită ponderii mari a curentului de magnetizare cresc considerabil erorile de măsurare, mai ales cînd sarcina secundară are un factor de putere mic;

b) în regimul frecvenţelor diferite faţă de cea nominală, în care unor frecvenţe mai ridicate le corespund pierderi şi putere de magnetizare mărite, se modifică spectrul cîmpului magnetic datorită curenţilor turbionari, se micşorează permitivitatea circuitului magnetic etc.;

c) în regimul curenţilor nesinusoidali, în care armonicilor din curba curentului primar corespund armonici de acelaşi ordin în curentul secundar, dacă ponderea curentului de magnetizare este mică (nu are loc saturaţia miezului datorită supracurenţilor sau a suprasarcinilor);

d) în regimul funcţionării cu circuite secundare deschise, care duce la creşteri de tensiune inadmisibile, menţionate anterior.

Sarcina experimentatorului constă în selectarea şi aplicarea celor mai adecvate metode de încercare şi de măsurare pentru caracterizarea cît mai exactă a comportării transformatoarelor de curent în regimurile de funcţionare examinate, ţinînd cont de condiţiile tehnice impuse prin standarde, norme sau prescripţii.

12.2.1. Încercarea izolaţiei la tensiunea de ţinere de frecvenţă industrială şi de impuls

● *Izolaţia principală* a înfăşurării primare a transformatoarelor de curent la tensiune de frecvenţă industrială se verifică cu bornele înfăşurării (sau înfăşurărilor) secundare scurtcircuitate şi legate la pămînt. Tensiunea de încercare se aplică între bornele scurtcircuitate ale înfăşurării (sau înfăşurărilor) primare şi borna de legare la pămînt. La verificarea izolaţiei principale a unei înfăşurări secundare se scurtcircuitează toate înfăşurările secundare sau primare şi se leagă la pămînt. După aceleaşi procedee se verifică şi izolaţia dintre înfăşurări. Dacă transformatorul de curent este echipat cu eclatoare de protecţie sau de coordonare a izolaţiei (sau cu coarne de protecţie), atunci ele se îndepărtează sau se demontează pentru tot timpul probelor de izolaţie. La fel se procedează şi cu rezistenţele neliniare dintre bornele înfăşurării primare, dacă ele există.

Izolaţia longitudinală dintre spirele înfăşurării de înaltă şi de joasă tensiune se verifică introducînd pe partea primară a transformatoarelor curentul nominal, bornele înfăşurărilor secundare fiind lăsate în gol.

Uneori se admite efectuarea verificării izolaţiei longitudinale şi prin excitarea înfăşurării secundare, bornele înfăşurării primare fiind lăsate deschise. Cele două probe însă nu sînt echivalente, deoarece la excitaţia din partea înfăşurării primare valoarea de vîrf a tensiunii induse între bornele secundare de regulă este mai mare. Atît la verificarea izolaţiei principale, cît şi la verificarea izolaţiei longitudinale (dintre spire şi straturi) tensiunea respectiv curentul trebuie să fie crescute şi descrescute cu o viteză reglementară, prescrisă de norme.

● Încercarea izolaţiei transformatoarelor de curent la tensiune de impuls (la undele normalizate pline şi tăiate, pentru supratensiuni atmosferice şi la unde de supratensiuni de comutaţie) se execută conform schemei din fig. 12.2.

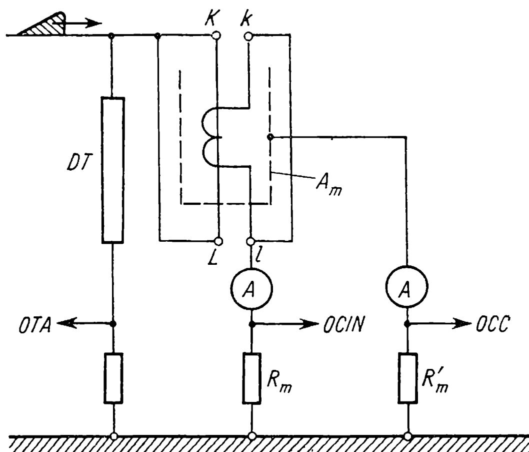


Fig. 12.2. Schema de încercare a izolaţiei transformatoarelor de curent la tensiunea de impuls: *DT* — divizor de tensiune; A_m — armături metalice legate la pămînt; R_m, R'_m — şunturi de măsură.

Apariția defectului în izolația principală sau longitudinală a înfășurărilor se constată din indicația ampermetrului sistem Deprez și din distorsiunea oscilogramei curentului indus în înfășurarea neîncercată (OCIN), a curentului de cuvă sau carcasă izolată (OCC) sau chiar din oscilograma tensiunii aplicate (OTA).

Se consideră că încercările izolației principale și secundare la tensiune de frecvență industrială și la tensiune de impuls au fost suportate cu succes dacă în timpul probei nu se produce vreo străpungere sau conturnare a izolației externe sau interne. Uneori se tolerează o conturnare accidentală a izolației externe dacă la reluarea probei (de 5 ori în cazul încercărilor la impuls) fenomenul nu se repetă.

12.2.2. Determinarea intensității descărcărilor parțiale

În ultimul timp *nivelul descărcărilor parțiale* a devenit un criteriu principal de apreciere a calității și stării izolației transformatoarelor de măsură turnate în rășini sintetice sau a celor cu izolație de hîrtie-ulei. Astfel, de exemplu, normele germane (VDE 0414 și VDE 0434) prevăd că determinarea nivelului descărcărilor parțiale să facă parte din categoria probelor individuale (la care trebuie să fie supuse toate transformatoarele de măsură, avînd izolația din rășini sintetice cu tensiunea nominală peste 3 kV sau izolația de hîrtie-ulei cu tensiunea nominală peste 60 kV). La fel propune și Comitetul englez al CEI.

Nivelele tolerate ale descărcărilor parțiale conform normelor și propunerilor menționate mai sus, sînt trecute în tabelul 12.2.

Schema în care se determină nivelul descărcării parțiale a transformatoarelor de curent este dată în fig. 12.3. Măsurarea se efectuează după VDE în bandă îngustă de ± 9 kHz, la o frecvență de 1,9 MHz cu un amplificator corespunzător. Impedanța de măsură este astfel aleasă ca împreună cu impedanța caracteristică a cablului de măsură să dea o valoare de 60 Ω (de exemplu: un șunt neinductiv, ecranat, de 100 Ω și un cablu coaxial de înaltă frecvență cu o impedanță caracteristică de 150 Ω).

Etalonarea schemei și determinarea coeficienților de corecție se face cu ajutorul unei surse de înaltă frecvență (generator de semnal) în cele două

Tabelul 12.2

Nivelul admisibil al descărcărilor parțiale la transformatoare de măsură

A. Valori prevăzute în normele germane (VDE)

Felul izolației	Tensiunea nominală a transformatorului de curent U_N, kV_{ef}	Nivelul tolerat al descărcărilor parțiale		
		150 μV	60 μV	10 μV
Izolație solidă	> 3	1,5 U_N	1,3 U_N	0,75 U_N
Ulei	> 60	—	—	1,3 U_N

Tabelul 12.2 (continuare)

B. Valori prevăzute în propunerile CEI-38 (Secretariat) 43

Tratarea neutrului	Tipul transformatorului de măsură	Tensiunea de solicitare prealabilă de durată > 5s	Tensiunea de măsură	Tipul izolației	Nivelul admisibil al descărcărilor parțiale		
					Sarcină aparentă, pC	Debit pătratic C^2/s	Nivelul perturbațiilor, μV
Izolat sau compensat	Transformator de curent și transformator de tensiune, fază-pămînt	$1{,}2\ U_m$	$1{,}1\ U_m$	Izolație lichidă	100	4×10^{-18}	25
				Izolație solidă	250	$2{,}5 \times 10^{-17}$	62,5
			$1{,}1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	Izolație lichidă	10	4×10^{-20}	2,5
				Izolație solidă	50	1×10^{-18}	12,5
	Transformator de tensiune, fază-fază	$1{,}2\ U_m$	$1{,}1\ U_m$	Izolație lichidă	10	4×10^{-20}	2,5
				Izolație solidă	50	1×10^{-18}	12,5
Legat la pămînt	Transformator de curent și transformator de tensiune, fază-pămînt	$0{,}8 \times 1{,}2 U_m$	$1{,}1 \frac{U_m}{\sqrt{3}}$	Izolație lichidă	10	4×10^{-20}	2,5
				Izolație solidă	50	1×10^{-18}	12,5
	Transformator de tensiune, fază-fază	$1{,}2\ U_m$	$1{,}1\ U_m$	Izolație lichidă	10	4×10^{-20}	2,5
				Izolație solidă	50	1×10^{-18}	12,5

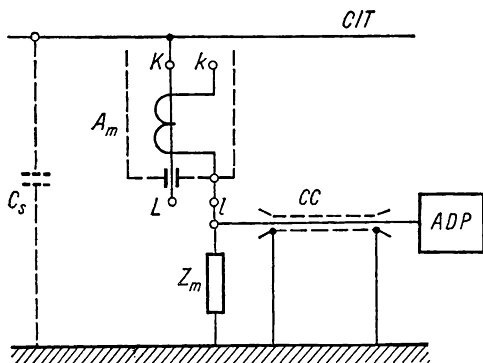


Fig. 12.3. Schema de măsură a intensității descărcărilor parțiale la un transformator de curent: *CIT* — conexiuni de înaltă tensiune; C_s — capacitatea de șuntare a obiectului de încercat (capacitatea parazită); Z_m — impendanța de măsură; *CC* — cablu coaxial; *ADP* — aparat de măsurat a descărcărilor parțiale; A_m — armături metalice legate la pămînt în condițiile funcționării normale.

scheme din fig. 12.4, pentru frecvența minimă (1,7 MHz), maximă (2,1 MHz) și nominală (1,9 MHz). Această verificare a proporționalității nivelelor de descărcări parțiale din interiorul transformatoarelor de măsură cu nivelele citite de pe aparatul de măsură este necesară, deoarece semnalul de înaltă frecvență a descărcărilor parțiale se închide nu numai prin impedanța de măsură, ci și pe calea cuplajelor capacitive parazite C_s.

În locul sursei de descărcare parțială se aplică un semnal de înaltă frecvență (de la un generator de semnale) printr-un condensator de cuplaj C_c de valoare mică (zeci și sute de pF). Factorul de corecție va fi

$$k = \frac{\alpha_b}{\alpha_a} \tag{12.2}$$

unde: α_b este indicația aparatului de măsură în schema din fig. 12.4, *b*;
α_a — idem în schema din figura 12.4, *a*.

În cele două scheme de măsurări, mărimea curentului de semnal trebuie să fie aceeași indiferent de schema de conexiune, valoarea lui menținîndu-se la același nivel în timpul probelor.

Indicațiile găsite în schema din fig. 12.3 trebuie să fie înmulțite cu valoarea medie a factorului de corecție obținută la frecvența nominală (1,9 MHz)

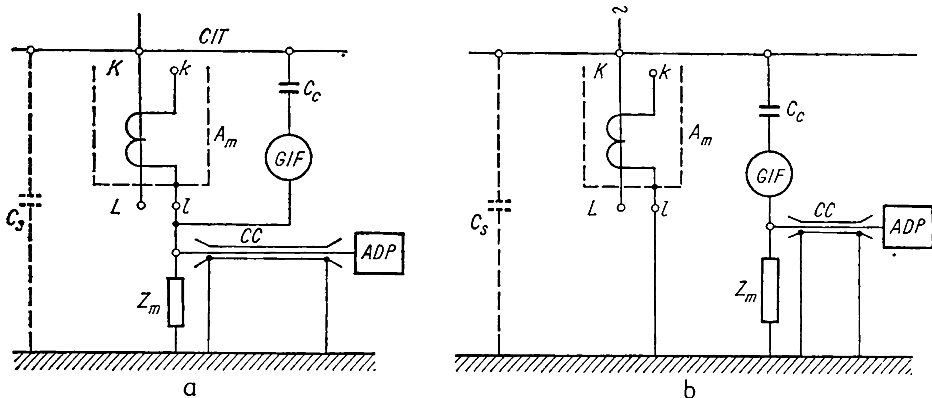


Fig. 12.4. Schema de validare a circuitelor de măsură a intensității descărcărilor parțiale a transformatoarelor de curent:
C_c — capacitatea (condensatorul) de cuplaj; *GIF* — generator de înaltă frecvență.

şi la cea minimă şi maximă. În anumite cazuri, între instalaţia de măsură şi transformatoarele încercate poate să aibă loc şi fenomene de rezonanţă, care dacă coincid cu banda de frecvenţă a experienţei (de exemplu 1,9 MHz conform VDE) pot să falsifice rezultatele măsurărilor. Pentru verificarea aceasta, experienţa arată că raportul factorilor de corecţie determinaţi la frecvenţa minimă şi la frecvenţa maximă, în cazul transformatoarelor de curent, trebuie să fie în intervalul 0,7 ... 1,4.

Conform prevederilor, instalaţia de măsură a nivelului de descărcări în bandă îngustă, în schema directă din fig. 12.3, dă rezultate acceptabile dacă $1 \leqslant k \leqslant 6$.

Trebuie menţionat că, în scopul obţinerii unor date de măsurări certe, laboratorul unde se efectuează încercările trebuie să fie ecranat, circuitele de alimentare filtrate şi descărcările exterioare suprimate (eventual prin introducerea transformatoarelor de măsură în ulei sau mediu de gaz izolat comprimat).

12.2.3. Încercarea căilor de curent şi a circuitelor magnetice în regim normal de funcţionare

Încălzirea transformatoarelor de curent se execută cu aparatul complet montat, ca în condiţiile de exploatare, acordînd o atenţie specială legăturilor provizorii la sursă, care nu trebuie nici să absoarbă căldura din interiorul aparatului nici să-i transmită din exterior.

Afirmaţia se referă în primul rînd la transformatoarele de curent, unde în primul caz se obţin încălziri considerabil mai mici, iar în cel de al doilea caz supratemperaturi mai mari decît în realitate. În aceste cazuri, pentru verificarea circuitelor de racord se măsoară temperatura pe bornele primare ale aparatului şi temperatura la 1 m distanţă de acestea, de-a lungul circuitului de racord spre sursă. Diferenţa de temperatură nu trebuie să fie mai mare de 5°C.

Înfăşurările secundare, în timpul probei de încălzire, trebuie să fie încărcate cu sarcinile secundare nominale prevăzute de condiţiile tehnice ale constructorului sau beneficiarului.

Temperatura mediului ambiant se măsoară cu termometre, iar cea a înfăşurărilor prin metoda măsurării rezistenţei ohmice, folosind relaţia

$$\theta = \frac{R_{caldă} - R_{rece}}{R_{rece}} (K + \vartheta_{rece}) - (\vartheta_{ma} - \vartheta_{rece}) \tag{12.3}$$

în care: θ este încălzirea medie a înfăşurării examinate, în °C;
$R_{caldă}$, R_{rece} — rezistenţa ohmică a înfăşurării controlate în stare caldă respectiv rece, în Ω;
ϑ_{rece} — temperatura aceleaşi înfăşurări în stare rece, în °C.
K — o constantă, a căreia valoarea exactă pentru cupru este egală cu 235°C, iar pentru aluminiu 245°C;
ϑ_{ma} — temperatura mediului ambiant, care trebuie să se găsească în limitele $10°C \leqslant \vartheta_{ma} \leqslant 30°C$.

Rezistența ohmică a înfășurărilor în stare rece se consideră acea rezistență care se obține la măsurări pe un transformator aflat cel puțin timp de 8 h deconectat de la sursă, într-o încăpere cu temperatură practic invariabilă.

În cazuri excepționale (de exemplu la transformatoare de curenți intenși), unde încălzirea nu poate fi determinată comod prin măsurarea rezistențelor ohmice în stare caldă și la rece datorită valorii prea mici (comparabilă cu rezistențele de trecere a contactelor) a rezistenței căii de curent, se admite folosirea termometrelor cu spirt, a termocuplelor și a termorezistențelor. Termometrele trebuie să aibă un contact metalic (prin folie de staniol) cu punctul cercetat și să fie izolate față de mediul ambiant (cu vată curată și uscată).

Termometrele cu mercur pot fi folosite numai în zone unde cîmpul magnetic și pierderile datorită curenților Foucault sînt neglijabile (unde cantitatea de mercur nu se supraîncălzește datorită acestor pierderi).

Se consideră că transformatorul de măsură a suportat cu succes încercarea de încălzire dacă temperaturile și supratemperaturile s-au încadrat în limitele tolerate de standard sau de normă internă și dacă la verificarea succesivă a erorilor nu se observă diferențe mai mari, decît cele corespunzătoare preciziei de măsurare, față de verificările metrologice anterioare.

12.2.4. Verificarea erorii de raport și de unghi

Verificarea metrologică a erorii transformatoarelor de măsură se efectuează cu punți speciale de tipul Schering-Alberti (fig. 12.5) de tipul Hohle (fig. 12.6), de tipul Stepan (fig. 12.7) și altele [99,100]. Punțile menționate verifică atît erorile de raport cît și cele de unghi ale fazorilor secundari și primari. Descrierea modului de funcționare a acestor punți se găsește în instrucțiunile de utilizare ale furnizorului extern.

La încercări se utilizează cabluri de legătură, care au fost etalonate în prealabil împreună cu punțile și sarcinile secundare respective de organele metrologice de stat. În timpul verificării erorilor transformatoarelor de curent, ampermetrele din secundarul acestora se scurtcircuitează, o bornă a înfășurării secundare trebuie să fie legată la masă și miezul magnetic se demagnetizează. Încercările se recomandă să fie începute cu curenți (tensiuni) și sarcini secundare mai mari, micșorînd mai întîi valoarea curentului (tensiunii) și după aceea mărimea sarcinii secundare la treptele inferioare impuse de STAS sau de NID. În cazul transformatoarelor de curent cu mai multe miezuri (sau circuite secundare) verificarea erorilor în cadrul probelor de tip se execută pentru două conexiuni: cu înfășurările secundare care nu se încearcă scurtcircuitate și cu aceleași înfășurări secundare încărcate la sarcină nominală. La încercările

individuale este suficient să se execute o singură probă, corespunzătoare conexiunii şi încărcării cele mai defavorabile pentru construcţia respectivă. Se menţionează că la transformatoarele de tensiune verificarea erorilor în cadrul probelor de tip de asemenea se execută pentru două conexiuni: cu înfăşurările secundare neîncercate lăsate în gol şi cu aceleaşi înfăşurări încărcate la sarcina lor nominală. În cadrul probelor individuale se procedează similar ca la transformatoare de curent.

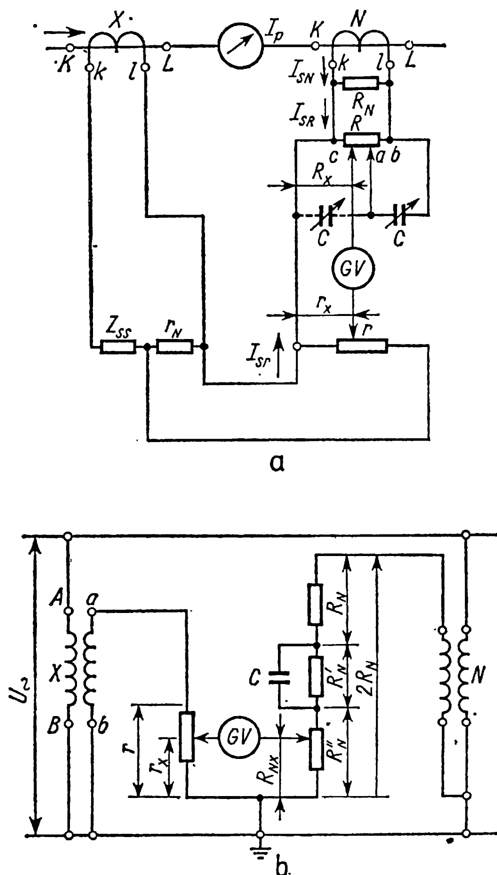


Fig. 12.5. Schema de principiu a punţilor Schering-Alberti folosite la verificarea metrologică a transformatoarelor de curent (a) şi de tensiune (b):

X — transformatorul de examinat; N — transformator etalon.

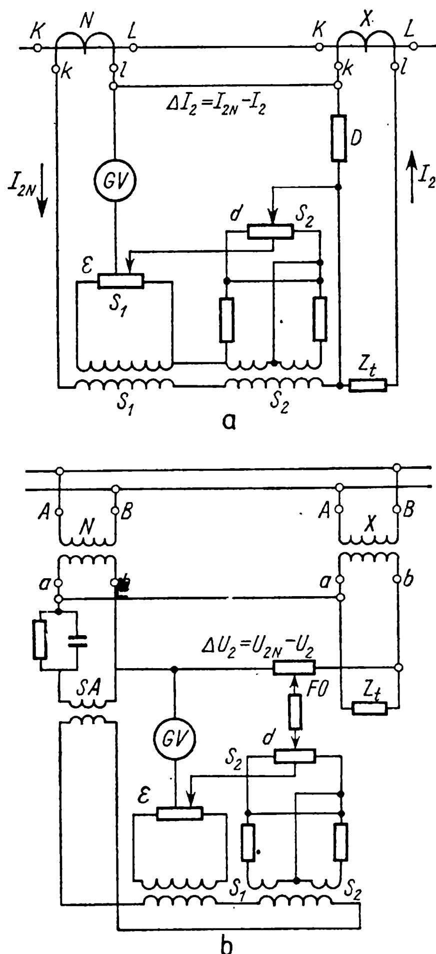


Fig. 12.6. Schema de principiu a punţilor Hohle folosite la verificarea metrologică a transformatoarelor de curent (a) şi de tensiune (b).

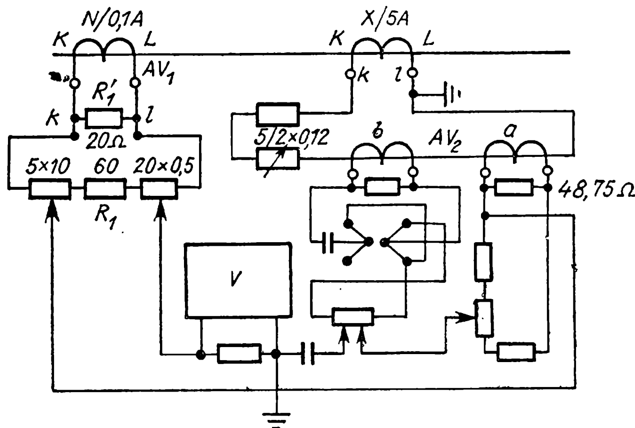


Fig. 12.7. Schema de principiu a punţii Stepan folosită pentru verificarea metrologică a transformatoarelor de curent.

12.2.5. Încercarea transformatoarelor de curent în domeniul supracurenţilor

Metodele de încercare şi de cercetare experimentală a comportării transformatoarelor de curent în domeniul supracurenţilor sînt diferite la transformatoare de protecţie faţă de cele practicate la transformatoare de măsură.

Ceea ce este comun pentru metodele de încercare a ambelor tipuri de transformatoare de curent constă în faptul că în zona supracurenţilor nu se pot verifica în mod direct condiţiile de precizie a transformării cu aceleaşi punţi de curent alternativ ca în domeniul curenţilor nominali (punţile s-ar deteriora datorită suprasolicitărilor termice de durată relativ lungă).

12.2.5.1. *Încercarea transformatoarelor de protecţie*

● Pentru verificarea erorii compuse, în acest domeniu de funcţionare a transformatoarelor de protecţie, se pot folosi *metodele directe* de măsurare, bazate pe utilizarea ampermetrelor sau a buclelor de oscilograf, conform schemei din fig. 12.8, rezultatul final obţinîndu-se din relaţia

$$\varepsilon_c = \frac{I_3}{I_1} 100\ [\%]. \tag{12.4}$$

În schema bazată pe metoda *ampermetrelor*, X reprezintă transformatorul de curent care se încearcă în domeniul supracurenţilor, iar N şi N' sînt transformatoare etalon. Între raporturile de transformare nominale ale celor trei transformatoare din schemă trebuie să fie respectată relaţia

$$K_N = K_X \cdot K_{N'}. \tag{12.5}$$

Valoarea impedanţei Z_3 trebuie să fie aleasă astfel, încît sarcina totală din circuitul secundar al transformatorului X să fie egală cu cea nominală

(ținînd cont și de impedanța transformatorului etalon N'). Valorile impedanțelor Z_1 și Z_2 se aleg ținînd cont de două condiții și anume:

— ca impedanța ampermetrului A_3 din circuitele secundare ale celor două transformatoare etalon să fie neglijabilă față de sarcinile totale din circuitele respective (introducerea ampermetrului în scheme de măsurare să nu influențeze rezultatul probei);

— ca sarcinile secundare totale ale transformatoarelor etalon să nu depășească valoarea lor nominală.

Caracteristica transformatorului de protecție în domeniul supracurenților se determină pentru curenți de n ori mai mari decît curentul nominal primar, obținuți de la o sursă de curent sinusoidal.

Măsurarea directă a erorii compuse *pe cale oscilografică* este mai precisă decît metoda ampermetrelor, datorită timpului mai scurt de desfășurare a probei (fracțiuni de secunde) în locul celor 3 ... 4 s, necesare pentru citirea aparatelor, cînd încălzirea înfășurărilor la curenți mari ar putea să pericliteze starea aparatelor de încercat și să compromită precizia măsurărilor. În acest caz, între raportul de divizare al șunturilor S_1 și S_2 (exprimate în A/mV) și raportul nominal de transformare al transformatorului de curent X trebuie să fie respectată relația

$$K_{s1} = K_x \cdot K_{s2}. \tag{12.6}$$

Deoarece din cei trei curenți, numai curentul I_1 va avea o formă perfect sinusoidală (curentul înregistrat prin bucla B_1), valoarea efectivă a curentului I_3 (curentul înregistrat prin bucla B_3) se va putea stabili numai în urma prelucrării oscilogramei I_3 printr-o metodă grafo-analitică convenabilă sau se determină cu ajutorul buclelor de putere a oscilografelor magnetoelectrice, conform metodei lui Luspay [99], ilustrată în fig. 12.9.

Relația dintre rapoartele de divizare a șunturilor și a raportului de transformare a transformatorului X este aceeași ca în (12.6).

De exemplu dacă $K_x = 50/5$, atunci

$$K_{s_1} = 1\,000\ \mathrm{A/_{mV}} \text{ și } K_{s_2} = 100\ \mathrm{A/_{mV}}.$$

În schemă, cu A s-a notat un amplificator special de audiofrecvență care amplifică curentul de eroare (curentul I_3 raportat). Bobina de tensiune a buclei de putere este alimentată de pe borna rezistenței R, a cărei valoare este funcție de tipul buclei de putere și a amplificatorului utilizate la probă. Astfel, de exemplu, în cazul utilizării buclei tip LMU 4, R = 0,079 Ω, iar în cazul buclelor de tip WMT, R = 0,067 Ω, dacă se utilizează amplificatorul din [99].

● Metodele directe de investigare a transformatoarelor de protecție în domeniul supracurenților, după indicațiile anterioare, necesită instalații de laborator relativ complicate și surse de curenți sinusoidali destul de ancombrante, de care nu se dispune, de obicei, în condițiile exploatării. În aceste cazuri se folosesc cu succes *metodele de încercare indirecte*.

Una din metodele indirecte se bazează pe aplicarea în secundarul transformatorului de protecție la care bornele sînt lăsate în gol, a unei tensiuni de excitație limită, nominală, U_{sln}, determinată din relația

$$U_{sln} = n_p I_{ns}(Z_s + Z_{ss}) = n_p I_{ns} Z, \tag{12.7}$$

în care: Z este impedanța totală din circuitul secundar al transformatorului;

Z_{ss} — sarcina secundară;

Z_s — impedanța proprie a secundarului;

n_p — multiplicitatea curentului primar corespunzătoare unei erori date;

I_{ns} — curentul nominal secundar.

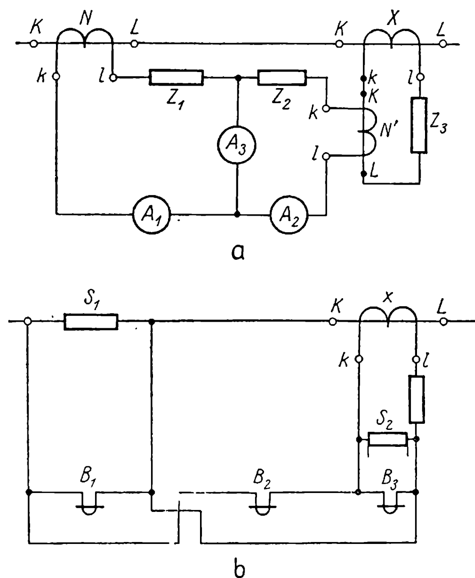


Fig. 12.8. Scheme de investigare experimentală a transformatoarelor de protecție în domeniul supracurenților, bazate pe utilizarea ampermetrelor (*a*) și a buclelor de oscilograf(*b*).

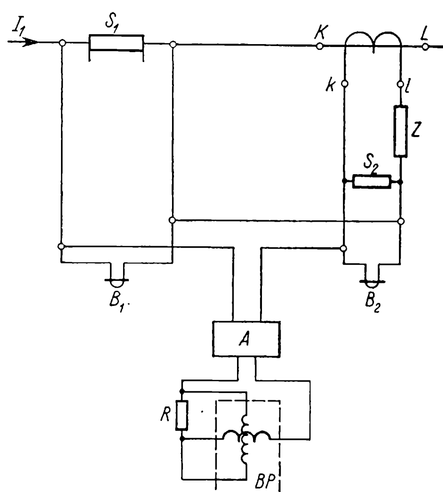


Fig. 12.9. Schema lui Luspay pentru determinarea pe cale directă a curentului de eroare folosită în cadrul probelor de investigare a transformatoarelor de curent în domeniul supracurenților:

B_1 și B_2 — bucle de oscilograf; A — amplificator; BP — buclă de putere; S_1 și S_2 — șunturi.

La determinarea impedanței totale este necesar ca componenta activă să fie raportată la 75°C.

Circuitul de protecție se consideră acceptabil dacă, la aplicarea tensiunii U_{sln}, curentul secundar de excitație în gol a transformatorului satisface relația

$$I_{0s} \leqslant n_p I_{ns} \frac{\varepsilon_c}{100}, \tag{12.8}$$

în care: ε_c este eroarea compusă în procente.

Prin această metodă poate să fie verificat însă numai un singur punct, punctul corespunzător curentului nominal primar, de saturație.

Pentru ridicarea curbei erorilor în funcție de valorile supracurenților, în vederea asigurării funcționării corecte a schemelor de protecție într-o gamă

mai largă a curenților de suprasarcină, este necesară utilizarea fie a unor surse de curent relativ intenși, fie a unor metode potrivite de încercare.

Pentru a evita sursele de curenți intenși și pentru a crea posibilitatea ridicării acestor caracteristici chiar în condițiile exploatării se folosesc *metodele de încercare indirecte* bazate pe deducerea curbelor de erori în domeniul supracurenților din curbele de magnetizare a transformatoarelor. Aceste metode se bazează pe faptul că unor curenți, respectiv sarcini secundare, superiori le corespund tensiuni pe bornele înfășurării secundare, curenți de magnetizare (de excitație) și erori compuse sau de transformare mai mari. Între mărimile fizice care se măsoară sau se determină prin calcul în cadrul acestei metode există următoarele interdependențe [99]:

$$I_{0s} = n\varepsilon_r I_{ns} \tag{12.9}$$

și

$$U_s = n\,Z\,I_{ns} \tag{12.10}$$

unde:

$$\varepsilon_r = \frac{I_{0p}}{I_p}; \tag{12.11}$$

$$n = \frac{I_{0p}}{I_{np}} \tag{12.12}$$

și ε_r este eroarea de raport (sau eroarea compusă), în unități relative;
I_{op}, I_{os} — curentul de excitație (de magnetizare) raportat la înfășurarea primară, respectiv secundară.

Pentru obținerea interdependenței dorite, se ridică curba de funcționare în gol a transformatorului alimentat în înfășurarea secundară

$$U_s = f(I_{0s}). \tag{12.13}$$

Constanta ampermetrului trebuie să fie, conform expresiei

$$K_A = \frac{1}{\varepsilon_r\, I_{ns}}, \tag{12.14}$$

iar a voltmetrului

$$K_V = \frac{1}{Z\, I_{ns}}. \tag{12.15}$$

Suprapunerea indicațiilor numerice ale celor două aparate, în condițiile menționate, intervine la o astfel de multiplicitate a curentului (cifrei de supracurent) care să corespundă cu sarcina secundară și eroarea relativă prezumată.

La determinarea cifrei de supracurent corespunzătoare unei sarcini secundare și a unei erori date, conform acestei metode, se pot folosi aparate specializate bazate pe utilizarea unor ampermetre-voltmetre combinate (cu arbori coaxiali), scara cărora este gradată direct în *n*.

Metoda se caracterizează prin operativitate și simplitate de executare a măsurărilor chiar și în condițiile exploatării. Dezavantajul metodei constă în precizia relativ scăzută față de metodele directe de măsurare. Totuși metoda

poate fi utilizată cu succes în condiţiile exploatării pentru descoperirea scurtcircuitelor dintre spirele înfăşurării secundare ale transformatoarelor de curent, defecţiuni care pot fi trecute neobservate timp îndelungat. În cazul unor astfel de scurtcircuite, acele indicatoare ale celor două aparate (ampermetrul şi voltmetrul) din schemă nu se suprapun niciodată, indicînd întotdeauna aproximativ aceeaşi deviaţie pe scară.

12.2.5.2. *Încercarea transformatoarelor de măsură*

● *Metodele directe* de încercare a transformatoarelor de curent, destinate pentru alimentarea circuitelor de măsură, se bazează pe măsurarea cît mai exactă a curenţilor primari şi secundari. În zona supracurenţilor, în acest caz, este necesar să se includă în circuitul secundar al transformatorului examinat un transformator de curent intermediar, cu raport de transformare corespunzător, iar valoarea impedanţei secundare (de sarcină) trebuie să fie aleasă, ţinînd cont de impedanţa acestuia din urmă. La conectarea curentului primar, corespunzător coeficientului de saturaţie impus, eroarea de raport trebuie să depăşească limita impusă (— 10%). Eroarea corespunzătoare coeficientului de saturaţie impus este raţional să se determine dintr-o curbă de forma

$$\varepsilon = f(n). \tag{12.16}$$

Spre deosebire de transformatoarele de protecţie, metoda oscilografierii curenţilor nu poate fi utilizată la transformatoare de măsură decît accidental (în cazul unor coeficienţi de saturaţie şi a unor curenţi nominali de valori ridicate), deoarece în acest caz eroarea de măsură va fi de acelaşi ordin de mărime cu mărimea de măsurat.

● Dintre *metodele indirecte* de investigare a transformatoarelor de măsură în zona supracurenţilor, o răspîndire largă a cunoscut metoda sarcinii secundare crescute sau metoda supraîncărcării înfăşurării secundare, pe lîngă metoda bazată pe ridicarea curbei de magnetizare descrisă anterior. Conform acestei metode, descrise detaliat în VDE 0414, suprasarcina din înfăşurarea secundară Z_a trebuie să fie aleasă astfel încît în circuitul magnetic (miezul înfăşurării secundare examinate) să se creeze o inducţie egală cu cea corespunzătoare supracurentului analizat la o sarcină secundară nominală.

Factorul de supraîncărcare a înfăşurării secundare se va determina în acest caz din relaţia

$$a = \frac{Z_a + Z_s'}{Z_{ss} + Z_s'}, \tag{12.17}$$

în care: $Z_s' = R_s(0{,}8 + 0{,}6 \operatorname{tg} \beta_s)$; (12.18)

$\cos \beta_{ss} = 0{,}8$;

$\cos \beta_s = 0{,}8$ (adică $\operatorname{tg} \beta_s = 0{,}75$) în general

şi

$\cos \beta_s = 1$ (adică $\operatorname{tg} \beta_s = 0$) în cazul miezurilor toroidale bobinate uniform pe toată circumferinţa.

Factorului de multiplicare a curentului primar n_x, corespunzător unei sarcini secundare crescute Z_a, îi va corespunde o eroare de raport ε_i, conform expresiei aproximative

$$\varepsilon_i \approx -\frac{a}{9+a} 100 \, [\%]. \tag{12.19}$$

Coeficientul de saturație corespunzător sarcinii nominale standardizate, în acest caz se va determina pe cale analitică cu ajutorul relației

$$n \approx 0{,}1 \, n_x \varepsilon_i. \tag{12.20}$$

În fig. 12.10 este redată o curbă auxiliară foarte utilă pentru experimentator, redînd interdependența dintre mărimile a, n, x, și ε_i, cu ajutorul căreia se organizează experiența după exemplul de mai jos.

Exemplul 12.1. Valoarea orientativă a coeficientului de saturație a unui transformator de măsură este circa 10. Se alege un factor de supraîncărcare a înfășurării secundare $a = 9$. Din figura 12.10 se determină eroarea corespunzătoare acestui factor, în condițiile VDE, fiind egală $\varepsilon_i = -50\%$. Prin măsurare se determină că la transformatorul examinat, cu înfășurarea secundară încărcată cu suprasarcina corespunzătoare ($a = 9$), eroarea de 50% se obține pentru o multiplicare a curentului $n_x = 2{,}0$. Rezultă că coeficientul de saturație căutat va fi

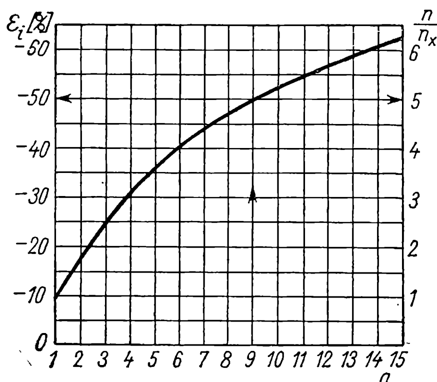


Fig. 12.10. Curbă auxiliară pentru determinarea cifrei de supracurent a transformatoarelor de măsură prin metoda indirectă a VDE.

$$n = 0{,}1 \cdot 2 \cdot 50 = 10.$$

Conform aceleiași norme germane, investigarea transformatoarelor de măsură în domeniul supracurenților este posibilă și prin *metoda ridicării curbei de magnetizare* (de funcționare în gol), stabilind punctul de funcționare a transformatorului corespunzător expresiei

$$\frac{U_{0s}}{I_{0s}} = 7(Z_{ss} + Z'_s). \tag{12.21}$$

În acest caz coeficientul de saturație se va determina în funcție de tensiunea de excitație U_{0s} predeterminată la funcționarea în gol a transformatorului și a curentului nominal din înfășurarea secundară I_{ns} cu ajutorul relației

$$n = \frac{U_{0s}}{0,9\, I_{ns}(Z_{ss} + Z_s)}. \qquad (12.22)$$

La efectuarea experienței, după această metodă nu trebuie să fie confundată mărimea $Z' = Z_{ss} + Z'_s$ cu mărimea

$$Z = Z_{ss} + Z_s.$$

Mărimea Z este impedanța totală (suma fazorială) din circuitul secundar, pe cînd mărimea Z' reprezintă suma impedanței sarcinii Z_{ss} și a proiecției impedanței secundare a transformatorului Z_s pe direcția fazorului Z_{ss}.

Exemplul 12.2. Rezistența ohmică a înfășurării secundare de 5A a transformatorului de curent $R_s = 0,4\ \Omega$.

Presupunînd că $\cos \beta_s = 0,8$

$$Z'_s = 0,4(0,8 + 0,6 \cdot 0,75) = 0,5\ \Omega.$$

Dacă sarcina secundară nominală va fi $Z_{ss} = 1,2\ \Omega$ atunci

$$Z = Z'_s + Z_{ss} = 0,5 + 1,2 = 1,7\ \Omega.$$

Conform ecuației 12.21

$$\frac{U_{0s}}{I_{0s}} = 7 \cdot 1,7 = 11,9\ \Omega.$$

La ridicarea curbei de magnetizare se constată că acest raport se respectă numai pentru valoarea

$$U_0 = 76,5\ \text{V}.$$

În consecință coeficientul de saturație căutat va fi

$$n = \frac{76,5}{0,9 \cdot 5 \cdot 1,7} = 10.$$

Se menționează că metoda VDE, exemplificată mai sus, dă o exactitate satisfăcătoare numai pentru cazul circuitelor de măsură de clasă superioară de precizie (0,2; 0,5 și 1). La clasele de precizie inferioare (3 și peste) trebuie să fie aplicate corecții corespunzătoare, dependente de numărul de spire scoase față de cel nominal din înfășurarea secundară a transformatorului (corecția de spire).

12.2.6. Încercarea transformatoarelor de curent în regimul scurtcircuitului brusc

În regimul scurtcircuitului brusc transformatoarele de curent sînt verificate:

— la stabilitate termică și dinamică (atît transformatoarele de protecție, cît și cele de măsură);

— la comportare în diferite scheme de protecție (numai la transformatoarele de protecție).

12.2.6.1. *Verificarea stabilității termice și dinamice a transformatoarelor de măsură și de protecție*

Stabilitatea termică și dinamică a transformatoarelor de curent se verifică în general conform metodologiei de încercare descrise în cap. 4 al cărții. În completarea celor indicate acolo, în cele ce urmează se dau numai unele aspecte particulare ale acestor încercări.

Comportarea transformatoarelor de curent în regimul scurtcircuitului poate fi verificată în mai multe feluri (în conexiune trifazată sau monofazată, prin încercări suprapuse sau separate etc.). La alegerea schemei optime de încercare trebuie să se țină cont că transformatoarele de curent se fabrică întotdeuna în execuție monofazată și se exploatează, de obicei, în grupare trifazată.

Pentru montajul trifazat constructorul impune amplasarea lor la o distanță minimă între faze adiacente, prin care se asigură încă o izolație corespunzătoare, fără ca forțele electrodinamice să depășească o limită tolerabilă. Pentru reproducerea solicitărilor, circuitul de încercare poate fi realizat monofazat sau trifazat, conform indicațiilor din fig. 12.11.

În circuitul de încercare, în regim trifazat, solicitarea maximă a căilor de curent va apărea în faza din mijloc. Această forță reprezintă 87% din forța F_0 calculată cu pătratul valorii de vîrf a curentului de scurtcircuit. În același timp, în fazele laterale solicitarea mecanică va fi de 81% față de F_0. Diagrama fazorială din figură reprezintă acea poziție a fazorilor care corespunde solicitării instantanee maxime în faza de mijloc B și într-una din fazele laterale A. După cum se vede și din figură în niciuna din aceste faze solicitate curentul de scurtcircuit nu atinge valoarea sa maximă, corespunzătoare forței electrodinamice maxime F_0 (100%). Dacă într-una din faze se obține această valoare a curentului, atunci efectul rezultat va fi o solicitare generală mai slabă a celor trei aparate montate în schema trifazată. Așa stau lucrurile dacă transformatoarele sînt privite ca porțiuni din calea de curent primară (solicitare privită din exterior). Valoarea de vîrf a curenților de scurtcircuit solicită însă în mare măsură și elementele constructive interne ale transformatoarelor de curent și în special înfășurările. În aceste înfășurări, la scurtcircuit brusc, apar forțe electrodinamice axiale, radiale și tangențiale, deosebit de mari, deoarece factorul de multiplicare a curenților de scurtcircuit față de curenții nominali, la transformatoarele de curent, este mult mai mare decît în cazul transformatoarelor de putere sau a bobinelor de reactanță.

Acceptînd procedura de încercare în schemă trifazată ar urma ca pentru cele două verificări enunțate să se execute două probe consecutive și anume:

Proba Nr. 1, realizată prin conectarea sincronă a celor trei aparate în fazele tensiunii conform poziției fazorilor din figura 12.11 (3*F*).

Proba Nr. 2, la care valoarea de vîrf a curentului de scurtcircuit se obține prin conectarea fazei (în care se găsește aparatul de verificat) în momentul trecerii prin zero a tensiunii (componenta aperiodică maximă).

Evident că proba în schema trifazată însoțită și cu conectările exacte, în fază, a aparatelor este mult mai complicată decît proba în schema mono-

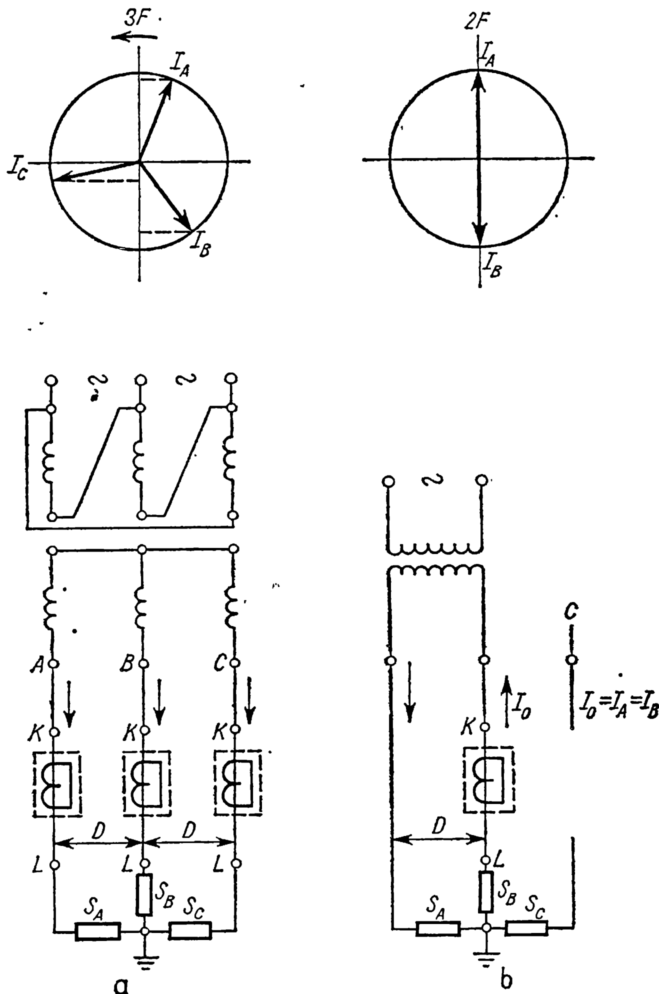


Fig. 12.11. Schemele de încercare la stabilitate termică și dinamică și diagramele fazoriale respective ale transformatoarelor de curent; *a* — încercarea în schemă trifazată; *b* — încercarea în schemă monofazată (bifazată).

fazată (2*F*). În acest caz se efectuează o singură probă cu conectarea sincronă la un curent care să corespundă curentului maxim din schema trifazată.

Este adevărat că în acest caz solicitarea privită din exterior va fi cu ceva mai mare (100% în loc de 87%) decît aceea din exploatare în montaj trifazat,

dar solicitarea internă va corespunde întocmai condițiilor naturale de funcționare a aparatului în regim de scurtcircuit, creînd o marjă de siguranță binevenită pentru atestarea performanțelor de scurtcircuit ale produsului.

La evaluarea rezultatelor încercării de stabilitate termică și dinamică, efectuată în schemă trifazată sau monofazată descrise mai sus, este necesar ca înainte și după probe să fie verificată izolația și erorile transformatoarelor de curent pentru scoaterea în evidență a unor eventuale degradări sau deteriorări ale înfășurărilor (izolația dintre spire sau straturi compromisă etc.).

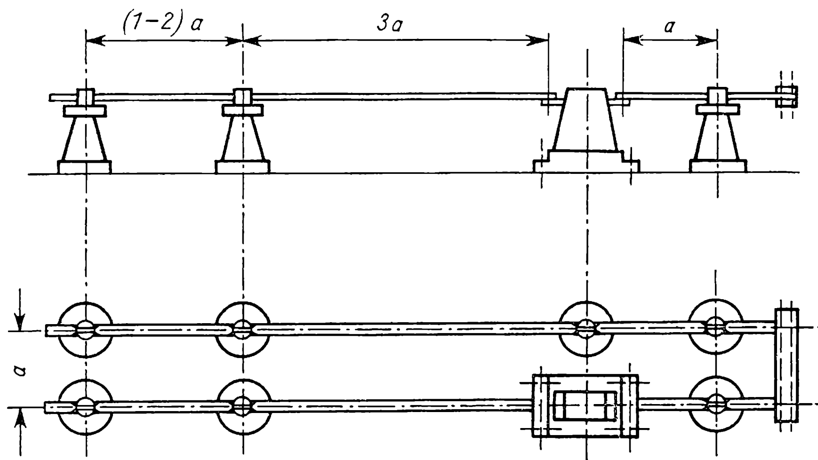


Fig. 12.12. Racordarea transformatoarelor de curent în schema de verificare a stabilității electrodinamice.

Racordarea aparatului la sursă și consolidarea circuitelor de alimentare și de scurtcircuitare se face cu bare de secțiune corespunzătoare respectînd dimensiunile conform schemei din fig. 12.12.

La transformatoarele de curent avînd curentul de stabilitate termică sub 2 kA, racordul poate să fie executat și cu cablu de secțiune potrivită. Contactul de racord la borne trebuie să fie realizat la fel ca în exploatare.

În timpul probei, bornele înfășurărilor secundare se leagă în scurtcircuit sau la o sarcină egală cu 50% din sarcina nominală (de exemplu conform prevederilor BS). Pentru a obține mai multe informații este util ca în circuitul secundar să fie inclus un șunt sau transformator de măsură avînd o impedanță de valoare mică, în scopul înregistrării curentului secundar, în afara celui primar.

În cazul circuitelor secundare de măsură ale unor transformatoare de curent, la care coeficientul de saturație (factorul limită de precizie) este relativ mare, curentul nominal secundar este de 1 A și sarcina secundară considerabilă, la proba de scurtcircuit pot să apară tensiuni periculoase pe bornele înfășurării secundare. În astfel de situații proba de scurtcircuit merită să fie executată și cu secundarul transformatorului încărcat la nominal. Evident că în timpul probei sarcina secundară inclusă în circuit trebuie să reziste la șoc termic și să nu-și schimbe valoarea ei inițială datorită încălzirii.

Curentul primar şi cel secundar se măsoară cu ajutorul unor şunturi, transformatoare de curent fără miez de fier (sau cu miez de fier, dar cu întrefieruri suficiente pentru liniarizarea curbei de magnetizare) sau cu transformatoare de curent în zona liniară a curbei de magnetizare. Valoarea efectivă a curentului secundar se determină din oscilogramă sau se măsoară cu ajutorul buclelor de putere conform metodei lui Luspay, descrisă anterior. Eroarea de măsură a curenţilor de stabilitate termică şi dinamică este de dorit să nu depăşească $\pm 5\%$.

Verificarea stabilităţii termice de o secundă, în cazul lipsei unei surse potrivite, poate fi efectuată trecînd prin transformator curenţi mai mici, dar într-un timp mai îndelungat, calculat cu ajutorul formulei

$$t_{sc} = \frac{I_1^2}{I^2}, \qquad (12.23)$$

unde: t_{sc} este durata efectivă a probei de scurtcircuit;

I — valoarea efectivă a curentului de scurtcircuit măsurată la probe;

I_1 — valoarea impusă a curentului de stabilitate termică de 1 s.

Se menţionează că timpul t_{sc} nu poate să depăşească 5 s, deoarece erorile care intervin datorită neglijării cedării de căldură prin conducţie termică, convecţie şi radiaţie, la timpi mai mari, pot să compromită experienţa. În cazul inexistenţei unui comutator sincron pentru realizarea conectării în faza potrivită a tensiunii, verificarea stabilităţii dinamice a transformatorului de curent se face prin închiderea repetată (prin tatonări) pe scurtcircuit. Dacă nici după cinci conectări nu s-a obţinut componenta aperiodică maximă, probele continuă de obicei pe un alt transformator, dar de construcţie identică.

Stabilitatea termică şi dinamică a transformatoarelor de curent se verifică de preferinţă prin metoda încercărilor suprapuse. În cazuri excepţionale se permite, şi efectuarea separată a probelor, dacă durata probei de stabilitate termică depăşeşte limita de 60 ms.

12.2.6.2. *Verificarea comportării transformatoarelor (circuitelor) de protecţie în diferite scheme de funcţionare*

Funcţionarea corectă a schemelor de protecţie este determinată în mare măsură de comportarea transformatoarelor de curent în diferitele regimuri tranzitorii.

Eroarea de transformare şi fidelitatea de reproducere a curentului primar (la scara respectivă) în circuitul secundar în perioada tranzitorie se poate investiga pe cale oscilografică. Pentru a obţine informaţii suficiente, la aceste probe se variază în limite largi următorii parametrii care au influenţă hotărîtoare asupra fenomenelor tranzitorii: curentul de scurtcircuit, constanta de timp a circuitului primar şi secundar, faza de stabilire (conectare) a scurtcircuitului, sarcina secundară şi fluxul rezidual din miez (de ambele polarităţi).

Încercările se execută cel puţin pentru valorile extreme ale parametrilor menţionaţi. Schema de măsură în principiu nu diferă de cea reprezentată în figura anterioară pentru ridicarea pe cale oscilografică a caracteristicilor în domeniul supracurenţilor (în regim cvasistaţionar).

Schema de protecţie concepută pe baza caracteristicilor de protecţie ale elementelor componente, obţinute în regim staţionar, de asemenea trebuie să fie verificată pe un montaj experimental. Această încercare, mai completă decît cea în regim staţionar se efectuează, de obicei, în condiţiile exploatării. Deosebit de importante sînt astfel de experimentări de scheme de protecţie în combinaţie cu relee de impedanţă, în care „distanţa văzută" de releu se poate modifica substanţial în perioada tranzitorie faţă de cea presupusă pe baza caracteristicilor ridicate în regim staţionar. În unele scheme de protecţie releele sînt alimentate prin transformatoare de curent intermediare. Aceste transformatoare de asemenea pot să aibă o influenţă hotărîtoare asupra funcţionării schemei de protecţie în regim tranzitoriu, în special în cazul utilizării protecţiei de distanţă.

12.2.7. Încercarea transformatoarelor de curent în regimul curenţilor homopolari

Scopul acestor încercări constă în verificarea sensibilităţii şi selectivităţii protecţiei, ţinînd cont de următoarele:

— la un curent de punere la pămînt prescris, în circuitul secundar al transformatorului trebuie să fie indus un curent suficient de mare pentru amorsarea releului de protecţie;

— la curenţii de scurtcircuit trifazat sau bifazat, dar fără punere la pămînt, în circuitul secundar al transformatorului nu trebuie să fie indus un curent aşa de mare ca să pornească releul de protecţie.

Schemele de încercare utilizate pentru astfel de investigaţii sînt reprezentate în fig. 12.13.

Metoda de efectuarea a acestor încercări este similară cu cea descrisă în paragraful anterior.

Comportarea în acest regim de exploatare poate fi predeterminată prin calcul şi din caracteristica volt-amper a transformatoarelor de curent.

12.3. Încercarea transformatoarelor de tensiune

Pe lîngă condiţiile tehnice generale expuse în standard şi la subcapitolul precedent, transformatoarele de tensiune folosite în reţelele de medie, înaltă şi de foarte înaltă tensiune pentru scopuri de măsură şi de protecţie se caracterizează în funcţionare printr-o serie de aspecte particulare, de care trebuie să se ţină cont, în mod obligatoriu, la efectuarea încercărilor. Aceste aspecte se referă la funcţionarea transformatoarelor de tensiune în zona tensiunilor normale de serviciu, în regimul punerii la pămînt a unei faze a reţelei, în regimul

tensiunilor mult sub valoarea tensiunii nominale (de exemplu în caz de scurtcircuit pe linie), în regimul supratensiunilor şi în regimul scurtcircuitării bornelor înfăşurării secundare.

● Spre deosebire de transformatoarele de curent, unde valoarea tensiunii nominale (sau a tensiunii maxime de lucru) avea implicaţii numai asupra izolaţiei, la transformatoarele de tensiune această valoare condiţionează şi clasa de precizie a aparatului. În afară de acestea, încălzirea de lungă durată de asemenea este predeterminată de nivelul tensiunii de serviciu a transformatoarelor de tensiune. Or, tensiunea de serviciu la aceste aparate montate, nu în serie, ci în paralel (transversal şi nu longitudinal) în reţea, poate să varieze în limite largi în funcţie de modul conectării lor: între faze sau între fază şi pămînt.

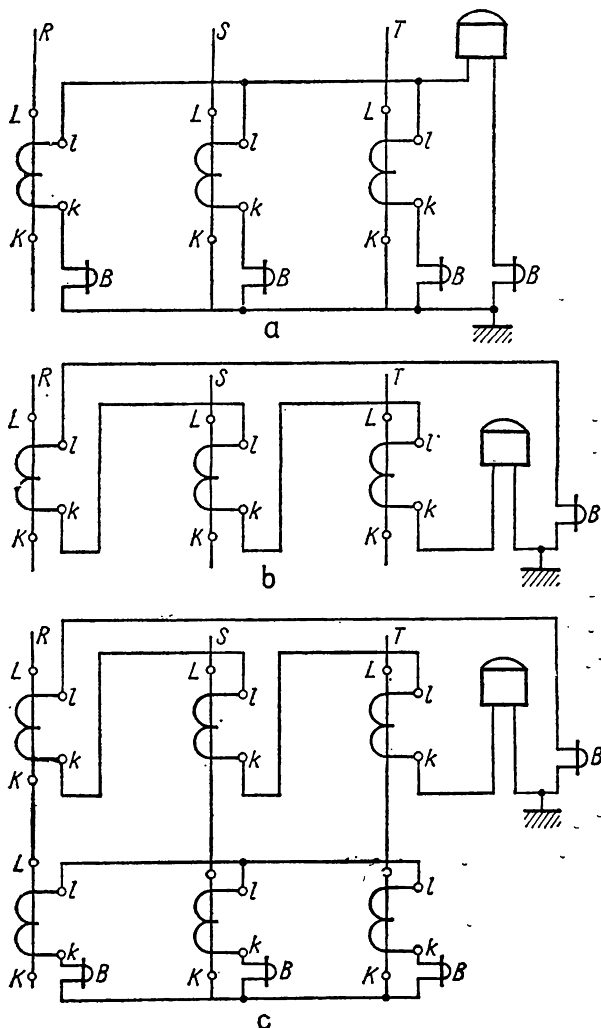


Fig. 12.13. Scheme de cercetare a sensibilităţii protecţiei homopolare propuse de Holmgreen.
B — bucla oscilografului.

În felul acesta, un transformator de tensiune, în principiu, poate să aibă două tensiuni nominale: o tensiune nominală corespunzătoare clasei de izolaţie (de exemplu pentru izolaţia externă în zone de poluare intensă) şi o altă tensiune nominală pentru clasa de precizie şi pentru încălzirea în regim de lungă durată. În regimul încărcării circuitelor secundare pînă la puterea nominală (sarcina secundară nominală) încălzirea aparatului nu trebuie să afecteze clasa de precizie a aparatelor, iar în regimul încărcării acelorași circuite sau a unor circuite speciale (transformatoare de tensiune utilizate şi pentru scopuri de alimentare a unor circuite din serviciile auxiliare ale staţiei) la pu-

terea maximă supratemperaturile nu trebuie să depășească limitele tolerate de norme pentru regim permanent de funcționare.

● Încălzirea transformatoarelor de tensiune nu trebuie să depășească anumite limite nici într-un alt regim, cvasipermanent, al punerii la pămînt îndelungate a unei faze (cînd supratensiunea temporară poate să atingă aproape dublul tensiunii de fază), corespunzătoare sarcinii secundare nominale, factorului de tensiune nominal și duratei nominale de aplicare a acestei supratensiuni (de exemplu 1,9 U_m timp de 8 h după STAS 4323- pentru transformatoarele montate în rețelele de medie tensiune cu neutrul izolat și fără eliminarea automată a defectului de punere la pămînt a unei faze).

În afară de aceasta, în regimul punerii la pămînt a unei faze tensiunea de semnalare a defectului (de exemplu: tensiunea care apare la bornele triunghiului deschis) trebuie să asigure condiții optime de lichidare a avariei. Valoarea de referință a acestor tensiuni de defect, care apare în rețele cu regimuri diferite de tratare a neutrului (izolat, compensat, legat la pămînt printr-o impedanță sau rigid), este în funcție de construcția transformatorului de tensiune (transformatoare trifazate, monofazate, cu cinci coloane etc.) și de schema de conexiune utilizată, așa cum rezultă spre exemplu, din fig. 12.14. și fig. 12.15.

În această figură cu U_F s-a notat tensiunea de fază, cu U_L — tensiunea la linie și cu U_D respectiv U_d, tensiunile de defect (primară respectiv secundară).

În cazul rețelelor cu neutrul izolat (la care factorul de tensiune este egal cu 1,9) tensiunea secundară de defect este 100 V, iar în cazul rețelelor cu neutrul rigid legat la pămînt (unde factorul de tensiune este 1,5) este 100/3 V.

● În condițiile funcționării normale, tensiunea de serviciu a rețelei variază, într-un domeniu restrîns, în jurul tensiunii nominale. În regimuri de avarie, în schimb, tensiunea sinusoidală aplicată pe borna transformatorului de tensiune poate varia în limite foarte largi: de la căderea de tensiune pînă la locul de scurtcircuit pe linie (cîteva procente din tensiunea nominală) pînă la valoarea maximă a supratensiunilor temporare (aproape dublul tensiunii nominale). Protecția generatoarelor, a transformatoarelor de putere, a barelor colectoare și a liniilor electrice de obicei este realizată prin relee de impedanță. La scurtcircuite, pe care trebuie să le sesizeze aceste relee în mod selectiv și cu o sensibilitate satisfăcătoare, acest releu de fapt „măsoară“ cu o precizie ridicată impedanța pînă la locul de defect.

Rezultă că, față de fidelitatea răspunsului transformatoarelor de tensiune în domeniul inferior tensiunii nominale trebuie să se impună exigențe similare ca la transformatoare de curent în domeniul supracurenților sau a curenților de scurtcircuit. Din acest motiv, transformatoarele de tensiune trebuie să fie verificate experimental în domeniul subtensiunilor și în fenomenul tranzitoriu de prăbușire a tensiunii, pentru care caietul de sarcini al beneficiarului trebuie să cuprindă condiții tehnice corespunzătoare.

● Fiind conectate *transversal* (între faze și/sau între fază și pămînt) în rețelele de medie, înaltă și foarte înaltă tensiune, izolația transformatoarelor de tensiune este supusă la solicitările prin supratensiunile interne și externe care sînt caracteristice și la transformatoarele de putere: suprasolicitarea spi-

relor sau straturilor de la capătul de linie la supratensiuni de or gine atmosferică, pericolul de incendiere a fierului la supratensiuni temporare de durată mai lungă etc.

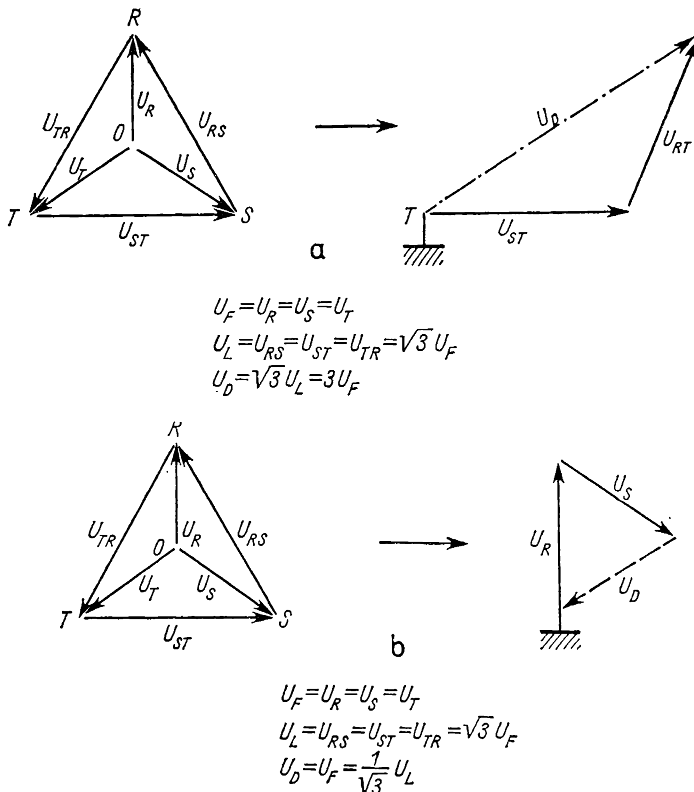


Fig. 12.14. Diagrama fazorială a tensiunilor primare ale transformatoarelor de tensiune montate în rețele cu neutru izolat (*a*) și rigid legat la pămînt (*b*), cu (figura din dreapta) și fără (figura din stînga) punere la pămînt a unei faze;

U_D — tensiunea primară de defect (sumă vectorială a tensiunilor de fază).

● Scurtcircuitele pe bornele înfășurării secundare a transformatoarelor de tensiune pot să apară ca și pe bornele transformatoarelor de putere, chiar la valoarea tensiunii maxime de lucru. În acest caz, în mod similar, apar solicitări termice și dinamice de scurtă durată care pot să ducă la avarii grave. Astfel, de exemplu, dacă amplasarea reciprocă a înfășurării primare și secundare nu este simetrică, în acest regim vor apărea forțe axiale, înfășurările respective se deplasează una față de cealaltă. Dacă scurtcircuitarea bornelor secundare durează prea mult transformatorul de tensiune va exploda.

Funcționarea în acest regim de scurtcircuit a transformatoarelor de tensiune este limitată în timp (fracțiuni de secundă) prin siguranțe fuzibile

şi/sau relee conectate în circuitul primar sau secundar. Ţinînd cont de modul de protecţie prevăzut, beneficiarul în caietul de sarcini al produsului trebuie să prevadă regimul de scurtcircuit pe care trebuie să-l suporte transformatorul de tensiune examinat, impunînd astfel de condiţii ca, de exemplu, pentru care valoarea a tensiunii primare se garantează rezistenţa în regim de scurt-

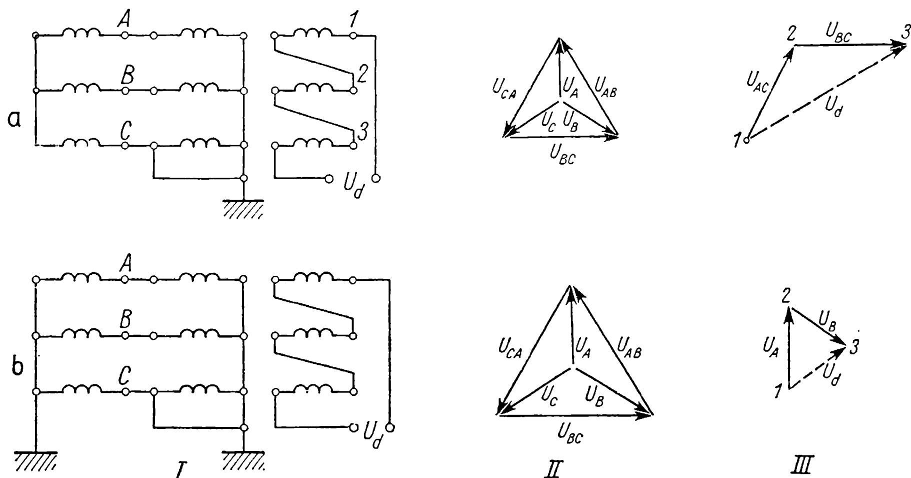


Fig. 12.15. Apariţia tensiunii secundare de defect U_d într-o schemă compusă din trei transformatoare de tensiune monofazate cu înfăşurările secundare de protecţie în triunghi deschis în cazul unei reţele cu neutru izolat (*a*) şi legat rigid la pămînt(*b*): *I* — schema de conexiuni; *II* — diagrama fazorială a tensiunilor secundare fără defect; *III* — idem *II* cu defect.

circuit brusc? (pentru tensiunea nominală, pentru tensiunea maximă de lucru sau pentru tensiunea corespunzătoare factorului de tensiune nominal); care este durata maximă a scurtcircuitului tolerat? ; cît este multiplicitatea minimă a curentului de scurtcircuit faţă de curentul nominal absorbit în regimul de funcţionare normală? etc.

Experimentatorul trebuie să selecteze şi să aplice cele mai concludente metode de încercare şi de măsurare pentru caracterizarea cît mai precisă a transformatoarelor de tensiune în regimurile specifice menţionate mai sus, ţinînd cont de tipul şi caracteristicile constructive ale aparatului examinat.

12.3.1. Încercarea izolaţiei la tensiunea de ţinere de frecvenţă industrială şi la tensiunea de impuls

Izolaţia principală şi izolaţia dintre înfăşurări a transformatoarelor de tensiune cu izolaţie plină se verifică, *la tensiunea de frecvenţă industrială*, în general, în mod similar ca la transformatoarele de curent.

În cazul aparatelor cu izolaţie gradată sau parţial gradată, ca de exemplu la unele tipuri de transformatoare de înaltă tensiune (35, 110, 220, 400 kV)

încercarea izolației bornelor poate să pună probleme dificile pentru potențializarea bornelor cu ajutorul unor transformatoare auxiliare. Pentru ilustrare, în fig. 12.16 se dă schema de încercare a transformatorului de măsură tip TTMU —2—35, folosind un transformator auxiliar pentru efectuarea probei.

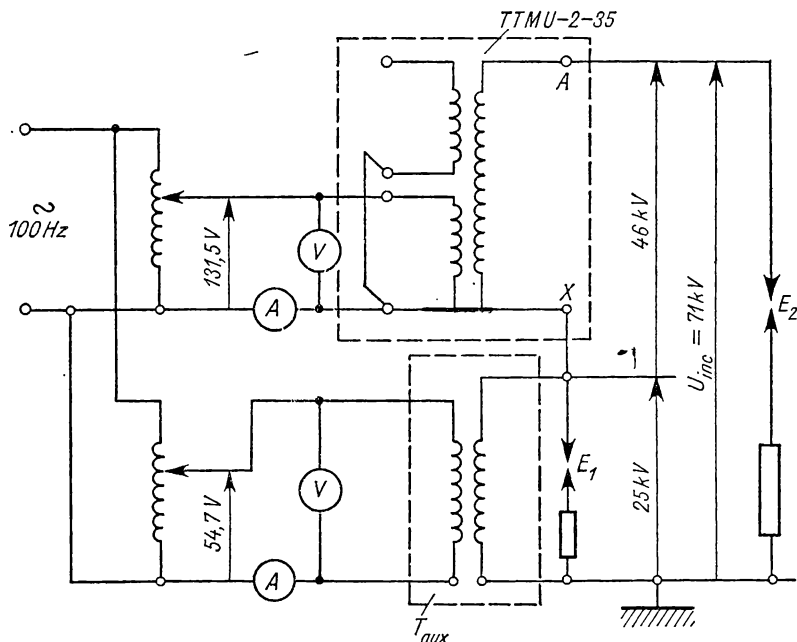


Fig. 12.16. Schemă de încercare cu tensiune indusă a unui transformator de tensiune cu izolație parțial gradată (TTMU-2-35) cu un transformator auxiliar (T_{aux}).

Schema permite încercarea simultană a capătului de linie și a neutrului transformatorului prin aplicarea unei tensiuni auxiliare de la transformatorul T_{aux} alimentat, la rîndul lui, de la aceeași sursă ca și transformatorul încercat. Pentru eliminarea inducției electrostatice și obținerea unei diferențe fixe de potențial între înfășurarea încercată și înfășurările de joasă tensiune, ultimele se conectează cu un capăt la pămînt. Prin încercarea izolației principale a capătului de linie a bobinajului de înaltă tensiune, în schema din figură, cu tensiunea indusă, se încearcă și izolația longitudinală a întregului bobinaj al transformatorului.

Încercarea *izolației longitudinale* (între spire, straturi, galeți, bobine) cu *tensiune indusă* se realizează aplicînd în secundar (sau eventual în primar) o tensiune egală cu (1,8 ... 5) U_m (în funcție de normă), dar la frecvență mărită, pentru evitarea curenților de magnetizare (de mers în gol) prea mari. Durata solicitării izolației la această probă nu depășește 1 min și în general este în funcție de frecvența tensiunii solicitante. Pentru exemplificare în tabelul 12.3 sînt date valorile normalizate de VDE pentru executarea acestei probe. Criteriile de apreciere a defectării izolației sînt aceleași ca la proba cu

tensiune aplicată: absența în timpul încercării a unor străpungeri sau conturnări observabile vizual sau auditiv; indicații anormale ale instrumentelor de măsurat sau de înregistrare (dacă acestea există), ori alte indicații certe. La această încercare are sens să se controleze și forma curbei de tensiune cu un oscilograf sau cu un voltmetru de valoare medie și cu unul ce indică valoarea efectivă.

Verificarea izolației longitudinale trebuie să se facă fără sarcină secundară conectată. Valoarea tensiunii de încercare se măsoară pe bornele înfășurării primare (de înaltă tensiune), indiferent pe ce parte a fost transformatorul excitat .

Tabelul 12.3

Tensiunile de încercare a izolației transformatoarelor de tensiune dintre spire, după VDE 0414/5.67

Modul de tratare a neutrului rețelei	Clasa de izolație	Tensiunea maximă de serviciu kV_{ef}	Tensiunea de încercare între spire, timp de 1 min, kV_{ef}	
			Izolația gradată	Izolația negradată
Rețeaua cu neutru nelegat efectiv la pămînt	0,5	—	2	3
	1N	—	3,5	10
	3N	3,6	16	21
	3S			
	6N	7,2	22	27
	6S			
	10N	12	28	35
	10S			
	15N	17,5	38	45
	15S			
	20N	24	50	55
	20S			
	25N	27,5	60	65
	25S			
	30N	36	70	75
	30S			
	45N	52	95	105
	45S			
	60N	72,5	140	140
	60S			
	110N	125	230	230
	110S			
	150N	170	325	325
	150S			
	220 N	250	460	460
Rețeaua cu neutru legat efectiv la pămînt	110NE	125	185	185
	110SE			
	150NE	170	275	275
	150SE			
	220NE	250	395	395
	220SE			
	380NE	420	630	680
	380SE			

La verificarea simultană a izolației principale și longitudinale a transformatoarelor de tensiune trifazate, cu neutrul accesibil sau inaccesibil, și cu izolația gradată sau parțial gradată se pot utiliza aceleași scheme de încercare ca la transformatoare de putere.

Izolația principală și longitudinală a transformatoarelor la *tensiune de impuls* se verifică în schemele din fig. 12.17. Schema de înregistrare este cea din fig. 3.32.

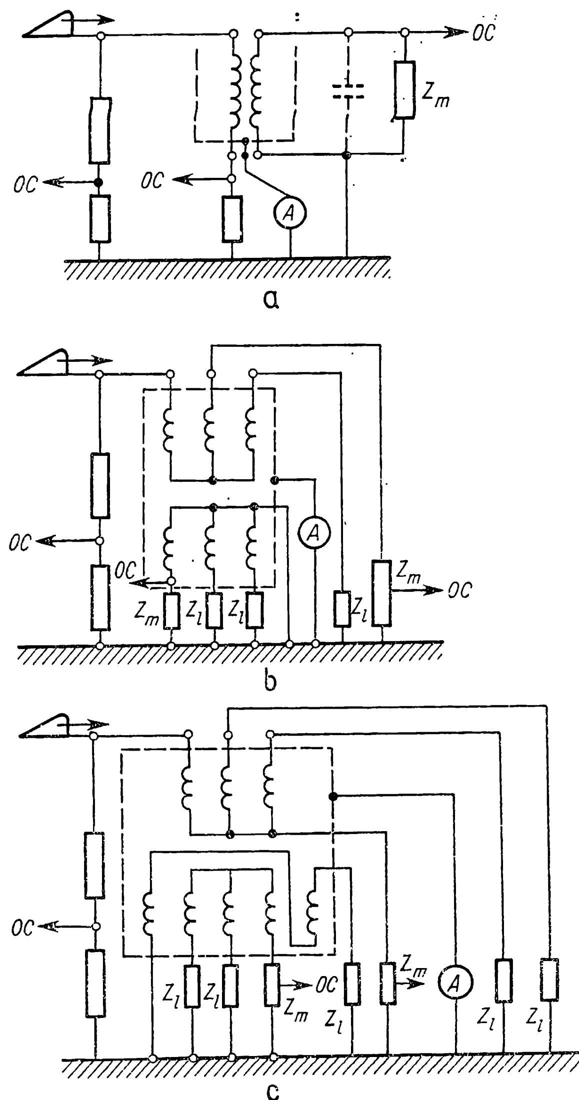


Fig. 12.17. Scheme de încercări la tensiune de impuls ale transformatoarelor monofazate (*a*) și trifazate (*b* și *c*), cu trei (*b*) și cu cinci (*c*) coloane.

Încercarea se execută la unde de impuls pline și tăiate conform specificațiilor din caietul de sarcini. În lipsa unor specificații, încercarea poate fi efectuată după metodologia aplicată la transformatoarele de putere conform indicațiilor din STAS-3035 și din literatura de specialitate [58,63]. Defectele din izolația principală se pot pune în evidență relativ ușor, după zgomotul interior, după bulele de gaze care ies la suprafață ime diat în urma probelor sau după devierea unui aparat balistic (de exemplu: un miliampermetru puțin amortizat) conectat între cuva (șasiul) izolată a transformatorului de tensiune examinat și pămîntul de impuls.

Detectarea defectelor ascunse în izolația longitudinală, în schimb, prezintă o serie de dificultăți care pune în mod serios la încercare capacitatea de investigație a experimentatorului. În astfel de cazuri se utilizează diferitele metode de defectoscopie bazate pe răspunsul înfășurărilor la impulsuri de formă conven-

țională, aplicate pe una din borne, cealaltă bornă fiind legată la pămînt (sau uneori lăsată liber).

Metoda oscilografierii variației tensiunii se impuls pe borna de linie a transformatorului de tensiune (OTA) este cea mai universală metodă de defectoscopie bazată pe cercetarea răspunsului izolației la unde de impuls (singulară sau repetată) aplicate. Unda de impuls poate să aibă o valoare de amplitudine diferită: de la zeci și sute de volți (utilizați în cadrul cercetării izolației cu defecte artificiale) pînă la zeci și sute de kV (folosiți în cadrul încercării izolației echipamentului aflat în exploatare). La aplicarea tensiunii de impuls obiectul cercetat absoarbe de la generatorul de impuls un curent de șoc în funcție de cuplajele capacitive și inductive ale construcției izolante. Dacă obiectul de încercat are un defect, acesta modifică schema echivalentă a izolației, și în primul rînd cuplajele capacitive ale construcției izolante respective, față de situația normală. Curentul de șoc pe care îl absoarbe obiectul de încercat va fi altul decît în cazul încercării construcției izolante sănătoase. Se modifică prin aceasta și parametrii echivalenți ai izolației (capacități transversale, capacități longitudinale, inductivități proprii corespunzătoare). Dacă defectul este amorsat chiar în timpul probei, atunci momentul de declanșarea a defectului se poate sesiza pe oscilogramă, printr-o oscilație de înaltă frecvență (de ordinul MHz).

Sensibilitatea metodei OTA poate fi mărită pe două căi:

Prima metodă de sensibilizare a metodei se bazează pe creșterea impedanței interne a sursei de tensiune de impuls sau pe micșorarea impedanței de impuls a obiectul de încercat (acolo unde acest lucru este posibil). Impedanța internă de ieșire a sursei se poate mări prin conectarea corespunzătoare a generatorului de impuls (corespunzătoare capacității de șoc și a capacității de front minime) și eventual prin creșterea artificială a inductanței conturului de impuls, pînă la valori admisibile. Impedanța de intrare a transformatoarelor de tensiune, se poate micșora prin conectarea corespunzătoare a înfășurărilor (scurtcircuitarea înfășurării secundare duce la micșorarea impedanței de șoc a transformatorului de tensiune).

Cea de a doua metodă de îmbunătățire a sensibilității se bazează pe metoda lui Rabus, prin care de fapt se obține sensibilizarea oscilografului de impuls. Această metodă necesită însă două generatoare de impuls.

Metoda oscilografierii curentului de șoc (OCS) se bazează pe analiza următoarelor componente ale curentului de șoc absorbit de la sursă de către aparatul de încercat și anume: curentul capacitiv de încărcare, componenta cvasistaționară a curentului, oscilațiile libere ale înfășurării încercate și oscilațiile induse din partea înfășurării neîncercate în înfășurarea încercată. În cazul unui defect preexistent sau în cazul amorsării defectului în timpul probei efectuate la tensiune redusă față de cea de încercare, componentele curentului de șoc se modifică față de normal (defectogramă), adică față de aspectul oscilogramei curentului de șoc înregistrat cu obiectul de încercat fără defect (normogramă). Datorită defectului se modifică în primul rînd cea de a doua și a treia componentă a curentului de șoc.

Sensibilitatea metodei este optimă, cînd defectul se produce în apropierea bornei legată la pămînt a bobinei încercate. În acest caz experimentatorul

versat poate să sesizeze în izolația transformatoarelor de tensiune scurtcircuitul între 0,2% din totalul spirelor. Sensibilitatea metodei se poate mări prin descurtcircuitarea înfășurării secundare și prin legarea la pămînt a fazelor neîncercate cu impedanțe de valori mari.

Metoda oscilografierii curentului de șoc are și cîteva dezavantaje, dintre care trebuie menționate următoarele:

— durata defectului (dacă defectul nu este preexistent și metalic, ci se amorsează în timpul probei) trebuie să fie destul de mare, ca acesta să fie sesizabil pe oscilograma înregistrată cu o viteză de baleaj relativ redusă (dimensionat pentru cuprinderea componentei cvasistaționare a curentului de șoc);

— după cîteva impulsuri de tensiune, miezul magnetic poate să posede o magnetizare remanentă, fapt care duce la distorsionarea oscilogramei fără să existe vreun defect;

— sensibilitatea metodei în cazul transformatoarelor de tensiune cu înfășurări stratificate nu este suficient de mare.

Cu toate aceste dezavantaje, fiind aproape la fel de operativă ca și metoda oscilografierii tensiunii de impuls aplicată, metoda OCS se folosește la toate tipurile de transformatoare de tensiune, chiar și cu neutrul inaccesibil sau inexistent, ca, de exemplu, în cazul înfășurării în triunghiu, etc. (borna opusă punîndu-se la pămînt prin șunt).

Metoda oscilografierii curentului de linie (OCL) **și metoda oscilografierii curentului de cuvă** (OCC) sînt deopotrivă utilizabile la defectoscopia transformatoarelor de măsură.

Curentul de linie apare ca suma curentului de impuls spre masă (care străbate capacitățile, rezistențele și inductanțele paralele sau transversale ale obiectului de încercat) și a curentului de impuls spre borna cealaltă (care străbate capacitățile, rezistențele și inductivitățile în serie sau longitudinale ale obiectului de încercat). Curentul de cuvă al transformatoarelor de măsură este practic pur capacitiv și în primele microsecunde ale aplicării tensiunii de impuls are valori deosebit de mari, ieșind de obicei din ecranul oscilografului.

Introducerea unui șunt *RC* duce, în majoritatea cazurilor practice, la micșorarea sensibilității metodei în detectarea unor defecte relativ mici din interior. Sensibilitatea metodei poate să fie crescută prin folosirea în locul șuntului *RC* a unui șunt inductiv, a unui circuit rezonant sau a unui transformator.

Metoda OCC dă rezultate mai bune în practică, decît metoda OCL, dar ambele metode au următoarele dezavantaje:

— izolarea față de pămînt a cuvei (dacă aceasta există) este incomodă (în condițiile fabricii constructoare sau în condițiile atelierelor de reparații) și uneori chiar practic imposibilă;

— atenuarea obligatorie a curentului de încărcare din primele microsecunde ale fenomenului, din motive obiective, duce la micșorarea nedorită a sensibilității probei;

— metoda este insuficient de sensibilă în cazul obiectelor de încercat cu capacități longitudinale mari, de exemplu la înfășurări stratificate etc.).

Metoda oscilațiilor libere ale neutrului (OLN) se poate de asemenea aplica

la transformatoare de tensiune. Sensibilitatea metodei este foarte mare (sesizează scurtcircuite preexistente în înfășurare de ordinul a 0,05% din numărul total al spirelor).

Cu această metodă de defectoscopie, însă, nu se poate stabili nici măcar în principiu locul defectului. În afară de aceasta, trebuie menționat că metoda nu este adecvată pentru scoaterea în evidență a unor defecte de scurtă durată (care se amorsează în timpul aplicării tensiunii de impuls la valoare comparabilă cu solicitările normale ale izolației), ci numai pentru defecte preexistente galvanice (scurtcircuite metalice între spire).

Metoda oscilografierii potențialelor induse (OPI) se bazează pe oscilografierea tensiunilor care apar în înfășurările secundare ale transformatoarelor de tensiune. Tensiunea indusă a înfășurării neîncercate este constituită de regulă din patru componente: componenta rezultată din inducția electrostatică (în special pe frontul undei), componenta cvasistaționară, componenta oscilatorie obținută pe calea inducției electromagnetice (avînd armonicile caracteristice ale înfășurării primare) și componenta oscilatorie (oscilațiile libere) ale înfășurării neîncercate (cuprinzînd armonicile proprii ale înfășurării secundare). La cercetarea defectului nu sînt necesare prima și ultima componentă a tensiunii induse, pe acestea experimentatorul poate să le atenueze cu divizoare ohmice-capacitive corespunzătoare.

Schema cea mai sensibilă de defectoscopie este aceea în care la bornele înfășurării secundare se conectează o rezistență de valoare mare și înfășurarea se leagă la pămînt printr-o capacitate. În felul acesta se pot scoate în evidență scurtcircuitele galvanice, de cîteva spire, cuprinzînd pînă la 0,2% din totalul spirelor înfășurării încercate.

Dezavantajul metodei constă în greutatea și uneori chiar în imposibilitatea separării defectelor din înfășurarea primară față de cele din înfășurarea secundară.

Metoda oscilografierii curentului indus în înfășurarea neîncercată scurtcircuitată (OCIN), care se scurge la pămînt printr-un șunt RC, este practic universal valabilă la orice tip de transformator de măsură. Metoda este adecvată în principiu nu numai pentru scoaterea în evidență a unor scurtcircuite galvanice preexistente, ci și pentru detectarea defectelor neevidente, care ies la iveală numai la o anumită valoare a tensiunii. Defectul de scurtă durată, defectul „pasager" apare deobicei pe oscilograma (OCIN) în forma unor oscilații de înaltă frecvență (de ordinul MHz). Defectul galvanic modifică și spectrul armonicilor din oscilogramă.

Sensibilitatea metodei este destul de ridicată, în special pentru scoaterea în evidență a unor defecțiuni în apropierea celor două capete ale înfășurării. Pentru creșterea sensibilității metodei, în loc de șunturi *R* sau *RC* se pot folosi circuite rezonante speciale (șunt *RLC*), acordate pe frecvența oscilațiilor care se produc la străpungerea izolației între galeții, spirele sau straturile înfășurării. Prin aceste artificii s-a putut depăși considerabil valoarea de 0,2%, care caracterizează sensibilitatea metodei în caz general.

Dezavantajul principal al metodei constă în faptul că metoda nu este sensibilă față de defectele care se situează în mijlocul înfășurării încercate.

Pentru alegerea schemei optime de defectoscopie şi a metodei de înregistrare a *răspunsului* aparatului de încercat la solicitarea prin impuls de tensiune, rezultă, din cele arătate, că trebuie ţinut cont de următorii factori mai importanţi:

— particularităţile constructive ale aparatului examinat (cuplajele capacitive şi inductive între diferitele porţiuni ale înfăşurării, izolarea bornelor la tensiune plină sau la tensiune redusă etc.);

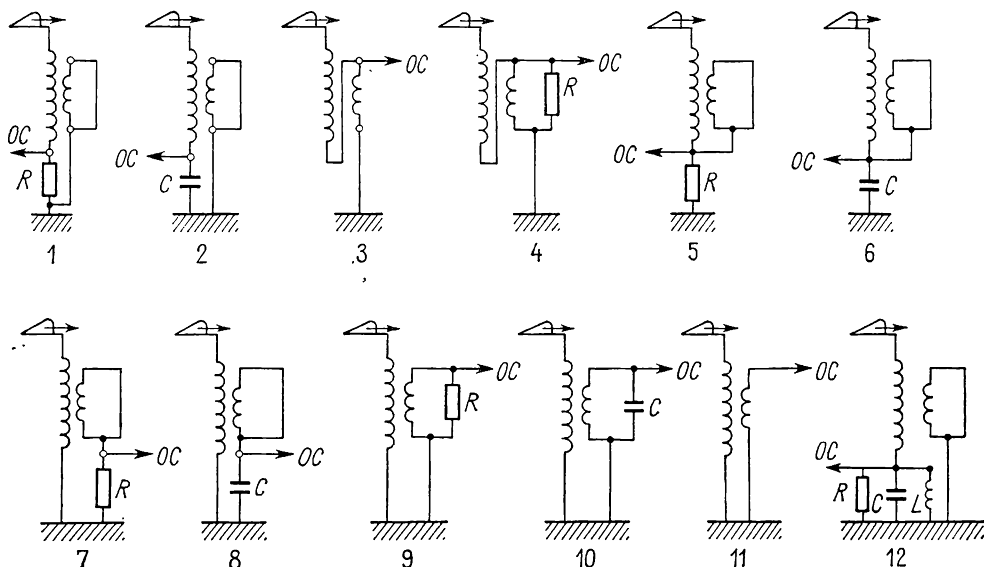


Fig. 12.18. Scheme de detectare a defectelor din izolaţia transformatorului de tensiune de 110 kV, tip TEMU-110, prin impuls de tensiune.

— posibilităţile instalaţiei de încercare şi a aparaturii de înregistrare (energia de şoc a generatorului de impuls, baleiajul oscilografului etc.);

— nivelul perturbaţiilor de înaltă frecvenţă în locul unde se execută încercarea (datorită scînteierilor la contacte, fenomenului corona etc.).

Pentru exemplificare în fig. 12.18 sînt date 12 scheme de defectoscopie aplicabile la transformatorul de tensiune de 110 kV tip TEMU-110.

Schemele din figură reprezintă variante ale metodelor de defectoscopie OCS, OCIN etc., descrise mai sus. Astfel, de exemplu schemele *1* şi *2* sînt variante ale metodei OCS. În schemele *3* şi *4* curentul de şoc care străbate înfăşurarea de înaltă tensiune se însumează cu curentul indus pe cale electromagnetică din partea înfăşurării primare. În schemele *5* şi *6* curentul de şoc se însumează cu un curent indus în înfăşurarea secundară în primul rînd pe cale electrostatică. Schemele *7* şi *8* sînt variante ale metodelor OCIN şi OPI (în funcţie de valoarea lui *R* şi *C*). Schemele *9*, *10*, *11* reprezintă variante ale metodelor OPI. Schema *12* este similară cu schema *1*, cu deosebirea că în

locul șuntului *R* aici se aplică un rezonator *RLC*, care intră în rezonanță la un defect presupus cunoscut din interiorul transformatorului de tensiune (de ex. străpungerea izolației dintre straturile semibobinei superioare).

La aplicarea unei unde de impuls pline, cea mai mare sensibilitate față de defectele interioare o arată schema *1* și *12*. La apariția defectului, în cazul folosirii acestor scheme, pe oscilogramă (defectogramă) se văd distorsiunile clare, atît a componentei oscilațiilor libere, cît și a componentei cvasistaționare (care trebuie să crească). Sensibilitatea apropiată cu aceasta o are schema *5*. Schemele *3* și *4* au o sensibilitate mai mică, deoarece în acest caz componenta cvasistaționară a curentului de șoc joacă un rol secundar.

Schemele *7* și *8* au o sensibilitate deosebit de mică, deoarece cuplajul capacitiv dintre înfășurarea de înaltă și joasă tensiune se reduce la cuplajul a două straturi adiacente (restul straturilor fiind ecranate). Schemele *9* și *10* sînt ceva mai sensibile. Schema *9* dă rezultate mai bune pentru defectoscopie decît schema *10*, deoarece tensiunile induse pe calea cuplajelor capacitive și inductive în secundarul transformatorului fiind de frecvență relativ înaltă, sînt puternic atenuate de capacitatea *C*. La încercarea cu undă de impuls tăiată cele mai sensibile scheme sînt *1*, *3*, *5* și *9*.

12.3.2. Determinatea intensității descărcărilor parțiale

Cele tratate la § 12.2.2 privind determinarea intensității descărcărilor parțiale la transformatoarele de curent, în principiu, sînt valabile și în cazul transformatoarelor de tensiune. Deosebirea constă în faptul că la această probă în cazul transformatoarelor de tensiune poate să fie solicitată și izolația longitudinală a aparatului. Schema de încercare în acest caz va fi cea din fig. 12.19.

Dacă ambele borne ale transformatorului de tensiune au izolație plină, atunci proba se repetă, bornele respective fiind racordate succesiv la sursa de înaltă tensiune. În cazul transformatoarelor de tensiune trifazate (de exemplu, cu miezul în cinci coloane) proba se repetă de trei ori cu excitarea succesivă a fazelor.

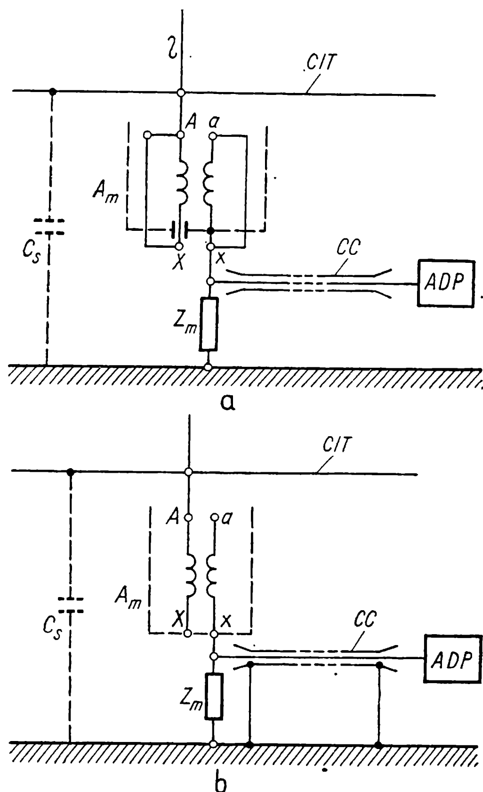


Fig. 12.19. Schema de măsurare a intensității descărcărilor parțiale în izolația principală (*a*) și longitudinală (*b*) a transformatoarelor de tensiune (notațiile sînt identice ca în fig. 12.3).

12.3.3. Încercarea la încălzire

Încercarea de încălzire a transformatoarelor de tensiune se execută în două regimuri diferite şi anume:

— în regimul puterii maxime secundare;

— în regimul tensiunii limită pe borne.

În primul regim de încercare transformatorul de tensiune se excită la tensiunea nominală şi se încarcă cu sarcina secundară maximă. Supratemperaturile maxime obţinute în acest regim stabilit nu trebuie să depăşească, de exemplu, valorile trecute în coloana 2 din tabelul 12.4.

În cel de al doilea regim de încărcare transformatorul se excită la o tensiune corespunzătoare factorului de tensiune nominal, pentru un timp impus prin standard (de exemplu la 1,9 U_n timp de 30 s, sau de 8 h) şi se încarcă cu sarcina secundară nominală. Supratemperaturile maxime obţinute în acest regim tranzitoriu nu trebuie să depăşească, de exemplu, valorile trecute în coloana 3 din tabelul 12.4.

În cazul transformatoarelor de tensiune instalate în reţele cu neutrul nepus efectiv la pămînt şi cu eliminarea automată a defectului la pămînt, factorul de tensiune este 1,9 şi durata solicitării 30 s. În aceleaşi reţele, cu eliminarea neautomată a defectului la pămînt, factorul de tensiune este acelaşi, dar durata solicitării transformatorului creşte pînă la 8 h. Standardele străine pentru aceste două cazuri impun verificări diferite. Astfel, de exemplu, standardul britanic pentru transformatoarele de tensiune cu factorul de tensiune 1,5 şi 1,9, avînd durata regimului tranzitoriu limitat la 30 s, impune o verificare a densităţii de curent în înfăşurarea primară care nu trebuie să depăşească 18,6 A/mm². Conform aceluiaşi standard, în cazul transformatoarelor de tensiune cu factorul de tensiune la fel ca în exemplul precedent, dar cu durata solicitării de 8 h, verificarea de încălzire se consideră satisfăcătoare dacă creşterea de temperatură în prima oră de desfăşurare a probei de încălzire nu depăşeşte 10°C.

Temperatura mediului ambiant şi supratemperatura înfăşurărilor la proba de încălzire în cele două regimuri (la puterea limită şi la tensiunea limită) se determină în mod similar ca la transformatorul de curent descrise la § 12.2.3.

Tabelul 12.4

Încălzirile admisibile ale transformatoarelor de curent şi de tensiune (conform standardelor maghiare MSZ 1576-67, MSZ 1577-67 şi MSZ 7730-60)

Clasa materialului de izolaţie	Supratemperatura, în °C	
	În regim staţionar	În regim tranzitoriu
Y	45	55
A	60	70
E	75	85
B	85	95
F	110	120
H	135	145
C	>135	>145

12.3.4. Verificarea erorii de raport și de unghi

Normele fac distincţie în ce priveşte condiţiile impuse erorii transformatoarelor de tensiune obişnuite, folosite pentru măsură şi pentru scopuri generale de protecţie, (primul caz) şi a transformatoarelor de semnalare şi de protecţie contra punerilor la pămînt (al doilea caz).

În primul caz, verificarea metrologică a erorilor se efectuează cu aceleaşi punţi universale şi procedee ca şi cea a transformatoarelor de curent pe baza principiului compensării. În timpul compensării, voltmetrele racordate pe bornele înfăşurării secundare se deconectează şi una din bornele secundare a înfăşurării se leagă la masă. În cadrul probelor de tip a transformatoarelor de tensiune cu mai multe înfăşurări secundare (de măsură şi de protecţie), erorile se determină succesiv cu înfăşurările neîncercate lăsate în gol şi încărcate la sarcina nominală. Transformatoarele trifazate se verifică preferenţial de la o sursă simetrică trifazată şi cu o sarcină secundară trifazată. În mod excepţional se admite verificarea erorilor cu sursă şi sarcină secundară monofazate, efectuînd trei probe succesive (pentru fiecare fază sau pereche de borne).

În cadrul celui de al doilea caz se practică două procedee distincte. Primul procedeu se referă la încercarea transformatoarelor monofazate, care funcţionează în grupare trifazată de semnalare a punerilor la pămînt, unde se pun toleranţe strînse pentru tensiunea de defect U_d. Cel de al doilea procedeu se referă la încercarea transformatoarelor trifazate (de exemplu cele cu cinci coloane) de semnalare a defectului la masă. Pentru evitarea semnalărilor false (sau a funcţionărilor false ale releului de punere la pămînt) pe bornele înfăşurării secundare, încărcate cu 25% din sarcina secundară nominală, nu trebuie să apară o tensiune mai mare de 5 V, atunci cînd pe bornele înfăşurărilor primare se aplică 1,2 U_N. Această condiţie şi erorile în general se verifică cu restul înfăşurărilor secundare lăsate în gol şi cu borna de neutru a transformatorului de tensiune nelegată cu neutrul transformatorului de alimentare. În regimul punerilor la pămînt, erorile de raport (corespunzătoare claselor 3 şi 10%) şi de unghi (grade) trebuie să fie asigurate la sarcini secundare în limitele 25 ... ... 100% (sau pentru aceste două valori distincte), avînd factorul de putere $\cos \varphi = 0{,}8$ sau 1, cînd pe bornele primare se aplică tensiuni mult superioare tensiunii nominale (1,5 şi 1,9 U_N) în schemele de încercare din fig. 12.20. Schemele de încercare vor fi diferite în funcţie de regimul de tratare a neutrului reţelei pentru care este destinat aparatul examinat.

O dificultate specifică a acestor încercări constă în necesitatea efectuării rapide şi totuşi precise a probelor pentru evitarea deteriorării termice a transformatorului de tensiune examinat (incendierea fierului, străpungerea izolaţiei longitudinale etc.).

În caz extrem, cînd nu stă la dispoziţia experimentatorului o sursă trifazată corespunzătoare probei acestor transformatoare de tensiune trifazată, încercarea poate fi efectuată şi de la o sursă monofazată, conform schemei din fig. 12.21, aplicînd pe bornele înfăşurării primare o tensiune de $\sqrt{3}/2$ ori mai mare. Tensiunile induse în înfăşurarea de semnalare a punerii la pămînt, în acest caz, va fi egală cu cea care apare în schema trifazată de încercare.

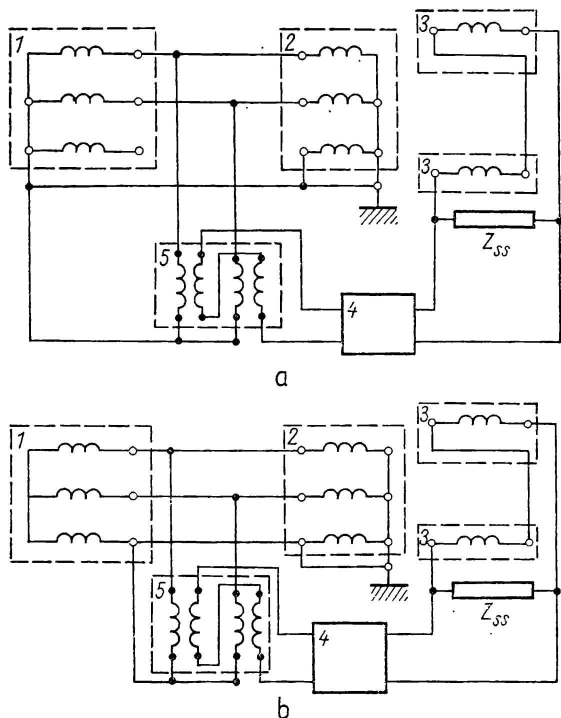


Fig. 12.20. Scheme de verificare a erorii transformatoarelor de tensiune trifazate folosite pentru semnalarea și pentru protecția contra punerilor la pămînt în rețelele cu neutrul pus efectiv la pămînt (*a*), unde factorul de tensiune este 1,5) și cu neutrul nepus efectiv la pămînt (*b*), unde factorul de tensiune este 1,9:

1 — transformator de alimentare trifazat; *2* — înfășurarea primară a transformatorului încercat; *3* — înfășurarea de semnalare-protecție a punerii la pămînt; *4* — punte de verificare a erorii; *5* — transformatoare etalon.

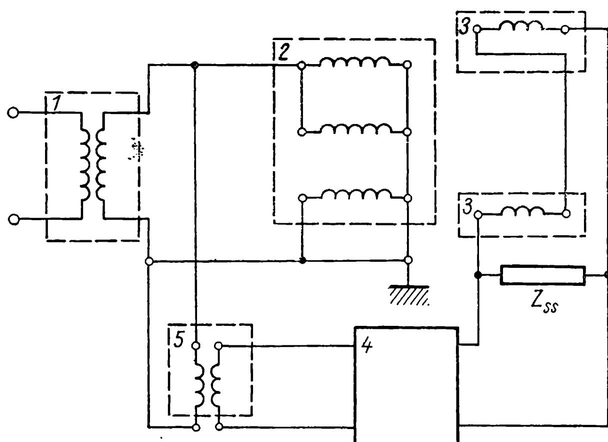


Fig. 12.21. Schema de verificare a erorii transformatoarelor de tensiune trifazate folosite pentru semnalarea și pentru protecția contra punerilor la pămînt, de la o sursă monofazată de alimentare a probei:

1 — transformator de alimentare, monofazat; *2* — înfășurarea primară a transformatorului de tensiune încercat; *3* — înfășurarea de semnalare-protecție contra punerii la punct; *4* — punte de verificare a erorii; *5* — transformator etalon.

13.3.5. Încercarea transformatoarelor de tensiune în regimul scurtcircuitului brusc pe bornele înfăşurării secundare

Verificarea rezistenţei transformatorului de tensiune faţă de eforturile electrodinamice şi faţă de suprasolicitările termice de scurtă durată se execută la tensiunea maximă de serviciu aplicată pe bornele primare, scurtcircuitînd brusc bornele înfăşurării secundare pentru o perioadă de timp impusă de norme (de exemplu 1 s). După această încercare, înfăşurarea secundară se descurtcircuitează, aplicînd în continuare pe bornele primare tensiunea maximă de serviciu, timp de cel puţin un minut. Proba trebuie să fie alimentată de la o sursă de impedanţă internă suficient de mică ca să nu aibă loc o cădere de tensiune mai mare de 10% în timpul scurtcircuitului. Bornele secundare ale transformatoarelor de tensiune trifazate trebuie să fie scurtcircuitate simultan. Transformatoarele de tensiune cu mai multe înfăşurări secundare se supun la mai multe probe de scurtcircuit brusc. Astfel, de exemplu transformatorul de tensiune cu două înfăşurări secundare se încearcă cu o înfăşurare scurtcircuitată, cealaltă fiind lăsată în gol şi vice-versa şi cu ambele înfăşurări secundare scurtcircuitate. La probă se înregistrează atît curentul primar, cît şi cel (cei) secundar, pentru o defectoscopie mai exactă, pentru determinarea densităsilor de curent şi pentru stabilirea timpului de ardere a siguranţei fuzibile (dacă ea există în schemă).

12.3.6. Încercările speciale ale transformatoarelor de tensiune capacitive

Transformatorul de tensiune capacitiv, de exemplu cel fabricat la întreprinderea Electroputere — Craiova, se compune dintr-un divizor capacitiv (primul dintr-un condensator de înaltă tensiune şi altul de tensiune intermediară) şi un dispozitiv electromagnetic de adaptare la acest divizor a circuitelor de măsură şi de protecţie. Pe lîngă funcţiile de măsură şi de protecţie, transformatorul de tensiune capacitiv (mai exact: subansamblul divizor de tensiune) poate fi folosit şi pentru transmiterea informaţiilor prin curenţi purtători de înaltă frecvenţă (dacă se completează cu un dispozitiv suplimentar de cuplaj de înaltă frecvenţă). Divizorul de tensiune şi dispozitivul său electromagnetic în general trebuie să satisfacă condiţiile care se impun şi transformatoarelor de tensiune inductive. Există însă şi o serie de condiţii suplimentare specifice, referitoare la funcţionarea transformatoarelor de tensiune capacitive în regimuri tranzitorii, ca de exemplu:

— la scurtcircuite pe linie;

— la punerea bruscă sub tensiune;

— la schimbarea bruscă a sarcinii secundare (sau trecerea bruscă a tensiunii primare de la tensiunea de fază la cea de linie) sau chiar la întreruperea bruscă a acestei sarcini;

— la funcţionarea eclatorului intern de protecţie.

Verificarea răspunsului tranzitoriu la scurtcircuit primar se realizează cu sarcina secundară totală a înfăşurărilor de măsură de 200 VA, avînd un factor de putere de cos $\varphi = 0{,}8$ inductiv şi înfăşurarea auxiliară neîncărcată.

În cazul în care scurtcircuitul primar se stabileşte la întîmplare, transformatorul se încearcă de 10 ori, intervalul dintre două conectări succesive fiind 30 ... 60 s.

În cazul utilizării unui scurtcircuitor pentru conectarea în faza tensiunii, se efectuează doar două probe: una la valoarea de vîrf şi cealaltă la trecerea prin zero a tensiunii primare. În timpul acestor probe se oscilografiază tensiunea secundară. Transformatorul a corespuns la probă dacă în două semiperioade de timp (20 ms) tensiunea secundară (valoarea de vîrf) nu variază mai mult de 5% faţă de cea dinaintea scurtcircuitului.

Verificarea răspunsului tranzitoriu la punerea bruscă sub tensiune se efectuează prin aplicarea bruscă a tensiunii maxime de lucru ($1{,}2\ U_{1N}$). Oscilografierea tensiunii secundare se face cu sarcina secundară totală inclusă în circuit (200 VA, cos $\varphi = 0{,}8$ ind) şi cu secundarul lăsat în gol. Numărul şi condiţiile conectărilor bruşte sînt identice cu cele menţionate în cazul precedent. Fenomenul tranzitoriu care are loc nu trebuie să dureze mai mult de 6 semiperioade, iar tensiunea tranzitorie secundară nu trebuie să difere cu mai mult de 5% faţă de tensiunea stabilizată secundară la 0,02 s după punerea bruscă sub tensiune a transformatorului.

Verificarea răspunsului tranzitoriu la modificarea bruscă a sarcinii secundare constă în oscilografierea tensiunii tranzitorii secundare la trecerea bruscă a sarcinii de la valoarea zero la 1/3 şi apoi pînă la valoarea 1 a sarcinii secundare nominale şi vice-versa. Tensiunea de alimentare primară conform NID 2523-69 a întreprinderii Electroputere — Craiova va fi cea de linie ($\sqrt{3}U_{1N}$). Transformatorul se consideră că a trecut cu succes încercarea dacă tensiunea tranzitorie secundară (ce se suprapune peste tensiunea permanentă) nu depăşeşte 5% la 20 ms după modificarea sarcinii.

În cadrul acestor probe, se acordă o atenţie specială verificării răspunsului tranzitoriu a transformatorului la întreruperea circuitului secundar, prin care se controlează eficienţa circuitului antirezonant. La această încercare se verifică în prealabil rezistenţa neliniară, montată în cutia de borne secundare, printr-o măsurare a căderii de tensiune la curentul de trecere ce se stabileşte atunci cînd se aplică tensiunea primară nominală (această cădere de tensiune trebuie să fie în limitele 35 ... 130 V la un curent de trecere de max. 0,1 A). Încercarea individuală se efectuează scurtcircuitînd una din înfăşurările secundare, celelalte înfăşurări fiind lăsate în gol. Printr-un comutator adecvat, se asigură ca înaintea scurtcircuitării înfăşurării secundare sarcina racordată să fie nominală (100 VA), iar după înlăturarea scurtcircuitului un sfert din aceasta (25 VA) timp de minimum 1 s, durata scurtcircuitării fiind egală cu 0,25 s. Se execută 20 de scurtcircuitări secundare întrerupte, într-un interval de 40 ... 60 s.

În cadrul probelor de tip, înfăşurările secundare se leagă în paralel şi se încarcă cu 200 VA, cos $\varphi = 0{,}8$ ind, înaintea scurtcircuitării şi cu 15 VA timp de minimum 1 s, după înlăturarea scurtcircuitului. Atît în cadrul probelor de

tip, cît şi a celor individuale, se execută 10 scurtcircuitări secundare la 1,2 U_{1N} şi 10 scurtcircuitări la 0,8 U_{1N}. Se observă (în cadrul probelor individuale) sau se înregistrează (în cadrul probelor de tip) forma sinusoidală a tensiunii secundare (oscilaţiile amortizate) şi erorile care trebuie să fie în limitele impuse de NID.

Verificarea răspunsului tranzitoriu la funcţionarea eclatorului intern se efectuează prin aplicarea unui impuls de tensiune sincronizat cu tensiunea de frecvenţă industrială.

13. Celule, posturi și stații prefabricate de medie și de înaltă tensiune

13.1. Nomenclatura probelor

Celulele, posturile și stațiile prefabricate de medie și de înaltă tensiune înglobează majoritatea sau chiar totalitatea aparatelor electrice utilizate în rețelele de transport și de distribuție a energiei electrice. Din acest motiv, ele sînt supuse, în caz de nevoie, la toate încercările practicate la verificarea calității sau fiabilității aparatelor componente (tabelul 13.1). Astfel, de exemplu, celulele și posturile prefabricate de medie tensiune (1 ... 35 kV) construite conform recomandărilor CEI (Publicația 298) și CAER (RS 2279-69), sînt supuse, în cadrul probelor de tip și a probelor individuale, la următoarele încercări:

a) încercarea izolației căilor de curent primare la tensiune sinusoidală de frecvență industrială; la tensiune de impuls convențional (1,2/50 μs), la undă de supratensiuni de comutație și la tensiune înaltă continuă;

b) măsurarea intensității descărcărilor parțiale a căilor de curent primare la tensiune înaltă sinusoidală;

c) încercarea izolației la umiditate crescută a aerului;

d) încercarea izolației circuitelor secundare la tensiune sinusoidală;

e) încercarea de încălzire în regim permanent a căilor de curent;

f) determinarea căderii de tensiune și a rezistenței ohmice pe fază (și pe porțiuni) a circuitului primar;

g) încercarea stabilității termice și dinamice a căilor de curent (sau a porțiunilor din calea de curent care sînt amplasate în compartimente diferite);

h) verificarea capacității de comutație;

i) încercarea de funcționare a dispozitivelor de acționare și de protecție electrice, mecanice, pneumatice, hidraulice etc.;

j) încercarea rezistenței la arc electric deschis;

k) verificarea gradului de protecţie împotriva atingerilor accidentale, împotriva ploii sau a stropilor de apă, împotriva acţiunii vîntului sau înghețului etc.

Nomenclatura probelor şi metodele de încercare sînt în curs de finisare pe plan internaţional la CIGRE (Grupa de lucru 23-03), la CEI (Publicaţia 298) şi în cadrul CAER (Comisia permanentă pentru standardizare, tema 355.1788-70).

Tabelul 13.1

Încercările celulelor şi staţiilor prefabricate (normalizate sau în curs de normalizare)

Nr. crt.	Denumirea încercării	Tipul încercării					
		I	L	T	PF	P	S
0	1	2	3	4	5	6	7
1	Verificarea tensiunii de ţinere a izolaţiei căilor de curent primare la frecvenţă industrială în condiţii atmotferice normale	×	—	×	×	×	—
2	Idem, la tensiune de impuls, undă convenţională (1,2/50μs)	—	—	×	(×)	—	—
3	Idem, la tensiune de impuls undă de supratensiuni de comutaţie (250/2500 μs)	—	—	(×)	—	—	×
4	Idem ca la 1, dar în condiţii de umiditate crescută a aerului	—	—	(×)	—	—	×
5	Măsurarea intensităţii descărcărilor parţiale la tensiune de frecvenţă industrială	—	—	(×)	—	—	×
6	Idem la pct. 1 pentru căile de curent secundare (comandă, măsură, protecţie)	×	—	×	×	×	—
7	Încercarea izolaţiei căilor de curent primare şi secundare cu tensiune continuă. Determinarea caracteristicilor de stare a izolaţiei (rezistenţă de izolaţie coeficient de absorbţie etc.)	×	—	×	×	×	—
8	Investigarea izolaţiei căilor de curent primare şi secundare cu tensiune sinusoidală. Determinarea caracteristicilor de stare a izolaţiei (tg δ, C_2/C_{50} etc.)	×	—	×	×	×	—

0	1	2	3	4	5	6	7
9	Determinarea căderii de tensiune și a rezistenței ohmice pe fază sau pe porțiuni a căilor de curent	×	—	×	×	×	—
10	Încercarea de încălzire în regim permanent a căilor de curent primare	—	—	×	—	—	—
11	Încercarea stabilității termice și dinamice	—	—	×	—	—	—
12	Verificarea capacității de comutație	—	—	×	—	—	—
13	Verificarea rezistenței la arc electric	—	—	—	—	—	×
14	Încercarea gradului de protecție (împotriva atingerilor accidentale, contra ploii, a stropilor de apă, vîntului etc.)	—	—	×	—	—	—
15	Încercarea rezistenței mecanice a construcției	—	—	(×)			(×)
16	Încercarea etanșeității construcției (gradul de capsulare) sau determinarea pierderilor de gaze	×	×	×	—	×	—
17	Încercări funcționale (încercarea circuitelor electrice, pneumatice și hidraulice de comandă, protecție și de măsură) la parametrii limită de lucru	×	×	×	—	—	—
18	Încercări de anduranță electrică și mecanică	—	—	×	—	—	—

Notă. Semnificația notațiilor utilizate în tabel este: X — încercare acceptată de majoritatea constructorilor și beneficiarilor; (X) — încercare în curs de normalizare; I — încercări individuale; L — încercări de lot; T — încercări de tip; PF — încercări de punere în funcțiune; P — încercări profilactice; S — încercări speciale.

În ceea ce privește celulele și stațiile prefabricate de înaltă tensiune (peste 72,5 kV), o activitate deosebit de intensă se desfășoară în domeniul celulelor capsulate în hexafluorura de sulf (SF_6). Lucrările de normalizare se efectuează în cadrul Comitetului Tehnic 17 al CEI (întrunirile recente de la Atena, München etc.). Încercările menționate la punctele a ... k, de mai sus, sînt completate printr-o încercare specială de detectare a scăpărilor de gaz și de măsurarea conținutului de umezeală în hexafluorura de sulf etc. (v. Publicația 517/1975).

Majoritatea încercărilor fiind comune cu cele ale aparatelor componente (de comutaţie, de linie, de măsură etc.), metodele de efectuare a lor sînt deja tratate detaliat în capitolele 3 ... 12, în cele ce urmează se expun numai încercările specifice ale celulelor şi staţiilor prefabricate de medie şi de înaltă tensiune.

13.2. Încercările specifice ale celulelor prefabricate de medie tensiune

13.2.1. Verificarea gradului de protecţie

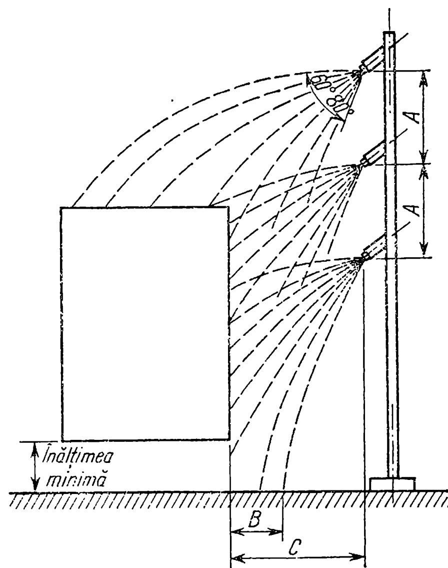
Gradul de protecţie a celulelor debroşabile, de interior şi de exterior, contra atingerilor accidentale a pieselor mobile şi fixe aflate sub tensiune se poate verifica conform prevederilor STAS 6692-63 şi a recomandărilor CAER (RS 235-64 „Echipament electric. Grade de protecţie. Metode de încercare" sau RS 2279-69).

Verificarea protecţiei celulelor metalice amplasate în exterior împotriva pătrunderii apei de ploaie se poate face după metodologia indicată în recomandările de mai sus, respectînd condiţiile generale impuse (de exemplu conform celor cuprinse în documentul RS 2279-69 pct. 2.3.1.1) sau cele speciale pentru protecţia împotriva pătrunderii stropilor de apă (de ex. conform metodei din RS 235-64 pct. 7).

În general protecţia împotriva stropilor de apă a acestor tipuri de celule se verifică cu ajutorul instalaţiei din fig. 13.1 cu ploaie artificială. În particular, metodele se deosebesc în funcţie de gradul de protecţie examinat (29 grade de protecţie în lista preferenţială a CAER).

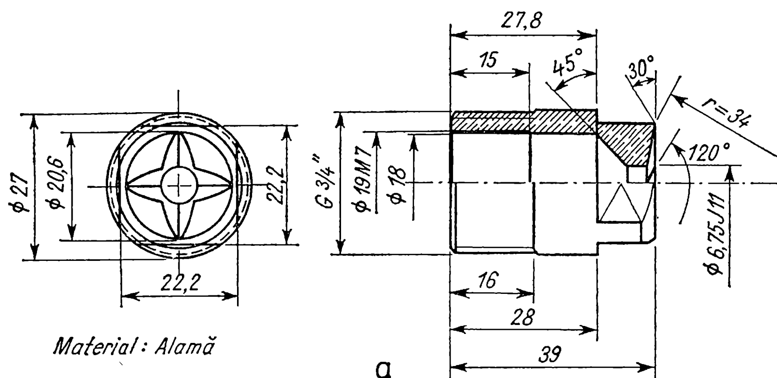
Duzele pentru pulverizarea apei pot fi cele recomandate de membrul CAER din RDG (fig. 13.2).

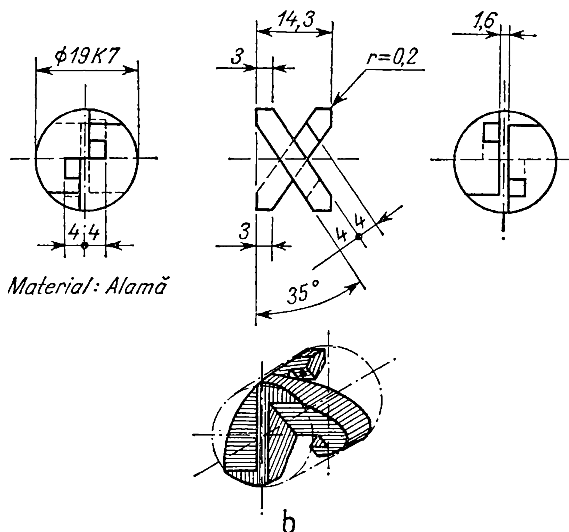
Încercarea se efectuează pe cel puţin două celule echipate complet (inclusiv cu barele de racord dintre ele). Numărul de duze trebuie să fie astfel ales ca norul de apă pulverizată să poată cuprinde în mod



A	2 m
B	1 m
C	2,5 m ··· 3 m

Fig. 13.1. Instalaţia de stropire a celulelor prefabricate de exterior recomandată de CAER pentru verificarea protecţiei impotriva stropilor de apă.





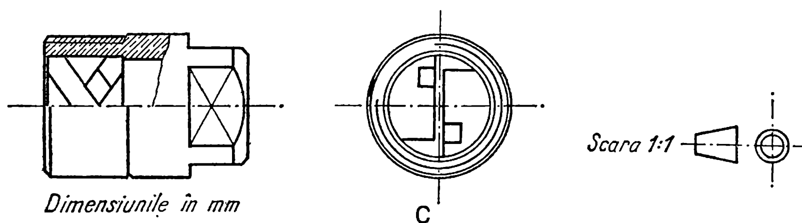


Fig. 13.2. Duza propusă spre normalizare de CAER pentru instalația de stropire: *a* — corpul duzei; *b* — piesa interioară; *c* — modul de montare a piesei interioare în corpul duzei.

uniform ambele celule. Se admite și stropirea separată și succesivă a suprafețelor celulei dacă se respectă condițiile speciale din NID.

Fiecare duză trebuie să asigure un debit de 30 l/min ± 10% la o presiune de 46 N/cm^2 ± 10% și la un unghi de așezare de 60...80°. Densitatea precipitației care cade pe fiecare latură trebuie să fie uniformă, de aproximativ 5 mm/min.

Laturile trebuie să fie stropite un timp de cel puțin 5 min.

În urma probei se consideră că celula a suportat cu succes încercarea dacă se îndeplinesc următoarele condiții:

— pe izolația căilor de curent primare și secundare nu se observă urme de picături de apă;

— apa nu se adună în labirinții elementelor constructive sau pe carcasa metalică legată la potențialul pămîntului (nu produce o corodare prematură a pieselor metalice).

13.2.2. Verificarea rezistenței celulelor la arc electric deschis

Arcul electric deschis în celulele metalice prefabricate duce la încălzirea rapidă a aerului din interiorul anvelopei, la creșterea bruscă a presiunii aerului, la solicitări mecanice și termice (incendii) deosebit de periculoase a pieselor. Aceste solicitări, pe lîngă pagubele materiale însoțitoare, pot să prezinte un pericol serios asupra personalului de exploatare prin radiațiile termice, arsurile posibile și prin șocurile nervoase datorită efectului luminos și sonor al arcului electric deschis. Din aceste motive, în ultimul timp se conturează o metodă de verificare experimentală a celulelor menită să protejeze personalul de exploatare de formele violente de manifestare a arcului electric deschis din stațiile interioare și exterioare.

Metoda menționată constă în producerea cu fir fuzibil a unui arc electric, de durate variabile, în diferitele compartimente ale celulei și în evaluarea efectului de arc asupra mediului ambiant prin măsurări speciale.

În timpul probei se înregistrează curentul de scurtcircuit, căderea de tensiune și energia arcului electric, presiunea în compartimentul celulei și eșaparea gazelor din interior, conform indicațiilor din cap. 7.

Schema instalației de încercare este dată în fig. 13.3.

Deformarea celulelor (sau a compartimentului) se urmărește cu ajutorul unei lupe de timp (Pentazet sau SK-3) cu viteze mari de filmare 50 000 cadre/s).

În jurul celulei încercate, la diferite înălțimi, se amplasează stegulețe cu foiță de hîrtie, care prin deviația lor filmată indică locul preferențial de eșapare a gazelor.

13.2.3. Încercarea la umiditate relativă a aerului crescută față de normal

Prin această încercare se verifică comportarea izolației echipamentelor din celulele, posturile și din stațiile prefabricate în condițiile condensului și în condițiile poluării concomitente a suprafețelor izolante din exploatare. Fenomenul de condensare a umezelii pe suprafața poluată a izolatoarelor, care

este periculos mai ales în cazul aparatelor electrice turnate în rășini sintetice, are loc de mai multe ori într-un an (sau chiar într-o singură zi) datorită variației bruște a temperaturii sau scăderii temperaturii sub limita punctului de rouă. Verificarea comportării izolației celulelor, posturilor și stațiilor (sau chiar

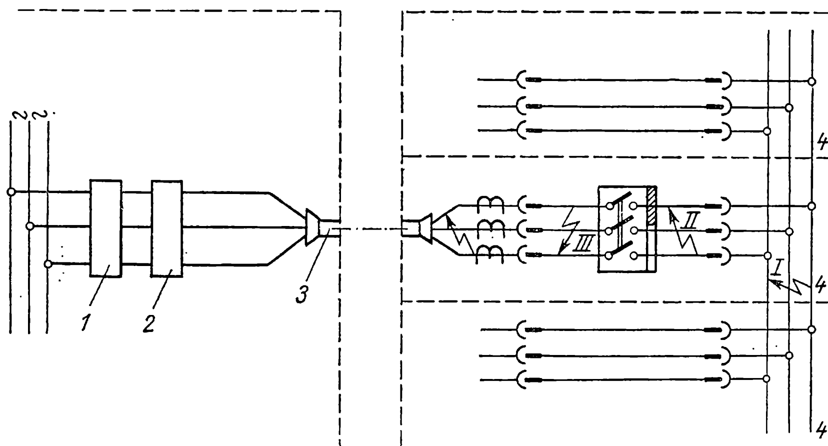


Fig. 13.3. Schema de principiu a instalației de încercare a celulelor prefabricate de medie tensiune la arc electric deschis:

1 — întreruptor de protecție; *2* — anclanșor; *3* — cablu de racord; *4* — celulă; *I, II, III* și *IV* — locul scurtcircuitelor realizate în mod voit.

a aparatelor disparate) de medie tensiune în aceste condiții se poate face prin metoda încercărilor accelerate propuse pentru prima oară de EdF (norma HM 071-1281).

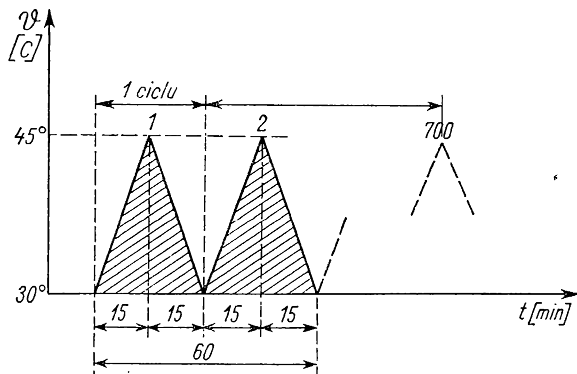
Proba constă în introducerea celulei (respectiv stației dacă este posibil) într-o cameră climatică de volum mare, unde umiditatea relativă este de cel puțin 95% și unde temperatura variază după ciclul reprezentat în fig. 13.4, *a*. În timpul ciclurilor este recomandabil ca barele celulei să se alimenteze cu tensiunea maximă de serviciu (tensiunea nominală a aparatului). Creșterea de temperatură din figură, de la 30 la 45°C se obține prin injectarea în încăpere a unui nor de vapori de apă. Aparatul este supus timp de circa 14 zile la cel puțin 700 astfel de cicluri.

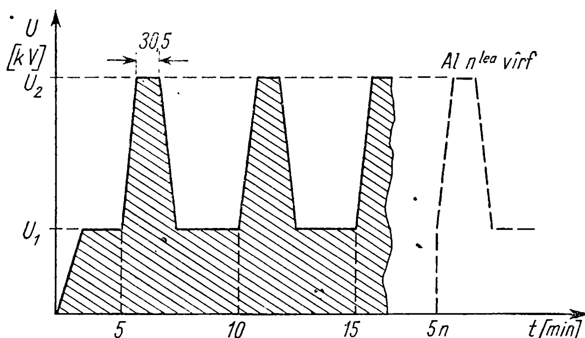
Tabelul 13.2

Treptele de tensiune la care se solicită izolația umezită a echipamentului electric de medie tensiune după metoda EdF (norma HM 071-1281)

U_N, kV	7,2	12	23	36	
U_2, kV	27	36	45	75	
U_1, kV	4,15	7	13,3	21	$U_1 = \frac{U_N}{\sqrt{3}}$

Încercarea de atestare a rezultatului probei cuprinde trei faze distincte:
— precondiționarea în camera de frig, între — 3 și — 5°C (faza I);
— introducerea rapidă a celulei (în maximum un minut) în încăperea de climatizare avînd temperatura între 24 și 26°C și umiditatea între 88 și 92%





13.4. Variația temperaturii (*a*) în camera climatică a EdF folosită pentru verificarea izolației echipamentului electric în condițiile de condens (creșterea de temperatură de la 30 la 45°C se obține prin injecție de aburi) și ciclurile de tensiune la care se supune izolația umezită (*b*).

(faza a II-a) și menținerea celulei în astfel de condiții timp de 2—3 săptămîni;
— aplicarea tensiunii variabile conform figurii 13.4, *b* și tabelului 13.2 de cel puțin trei ori (faza a III-a).

În urma încercărilor nu trebuie să aibă loc conturnarea izolației.

13.3. Încercările celulelor și stațiilor prefabricate de înaltă tensiune

În ultimul timp principala preocupare a întreprinderilor de profil electrotehnic constă în realizarea unor celule și stații de volum și de masă mult reduse față de cele convenționale, folosind pentru acest scop proprietățile

excepționale ale gazelor electronegative (de exemplu hexafluorura de sulf) de izolare, de stingere a arcului electric și de răcire. Din acest motiv, preocuparea de a elabora metode de încercare corespunzătoare pentru celulele și stațiile capsulate de înaltă și de foarte înaltă tensiune a ajuns în centrul atenției specialiștilor în cadrul Comitetelor tehnice ale CEI, a grupelor de lucru ale CIGRE și a grupelor de specialiști ai CAER (INTERELECTROTEST). În cele ce urmează, se dă spre exemplificare pe scurt, propunerea beneficiarului privind modul de verificare a calității celulelor capsulate în SF_6, care urmează să fie introduse în instalațiile electroenergetice în viitorul nu prea îndepărtat. Programul de probe conține încercări de tip și încercări individuale.

La *încercările de tip* celula este echipată cu două treceri izolate aer-gaz (pentru borne de intrare și pentru borne de ieșire) și este recomandabil să fie supusă la următoarele probe sau verificări:

A. Încercarea izolației căilor de curent primare față de anvelopa legată la pămînt și a izolației dintre contactele deschise la tensiunea de impuls, undă plină și tăiată de 1,2/50 μs, de polaritate pozitivă și negativă, ținînd cont și de condițiile impuse la cap. 3 al prezentei lucrări;

B. Încercarea izolației căilor de curent primare față de anvelopa legată la pămînt și a izolației dintre contactele deschise la tensiunea de impuls, undă aperiodică lungă de 250/2 500 μs, de polaritate pozitivă și negativă, conform acelorași prevederi ca la unda de impuls normalizată pentru supratensiuni de origine atmosferică, ținînd cont și de condițiile impuse la cap. 3 al prezentei lucrări;

C. Încercarea izolației căilor de curent primare față de anvelopa legată la pămînt și a izolației dintre contactele deschise la tensiunea de frecvență industrială aplicată în ordinea următoare:

a) se ridică tensiunea, într-un interval de 1 min, pînă la 1,25 $U_N/\sqrt{3}$ (unde U_N este tensiunea nominală a celulei), la care se menține izolația timp de 1/2 h, făcînd măsurarea nivelului de descărcări parțiale în bandă largă și/sau îngustă conform publicației CEI 270/1968, la începutul și la sfîrșitul intervalului;

b) în continuare tensiunea se ridică pînă la 1,5 $U_N/\sqrt{3}$, izolația menținîndu-se la această solicitare timp de 1 .. 5 min, făcînd măsurări de descărcări parțiale în bandă largă și/sau îngustă;

c) tensiunea este coborîtă la 1,25 $U_N/\sqrt{3}$, menținînd izolația la această solicitare timp de 1/2 h, efectuînd măsurarea nivelului de descărcări parțiale în bandă largă și/sau îngustă conform aceleiași proceduri ca la punctul a);

d) în continuare tensiunea se ridică, pentru un interval de maximum 30 s, pînă la valoarea tensiunii de încercare, la care nu se face determinarea nivelului de descărcări parțiale, urmărindu-se numai lipsa conturnărilor sau străpungerii izolației;

e) tensiunea este coborîtă din nou pînă la 1,25 $U_N/\sqrt{3}$, menținînd izolația la această tensiune timp de 1/2 h și efectuînd măsurarea nivelului de descărcări parțiale în bandă largă și/sau îngustă conform aceleiași proceduri ca la pct. a) și c).

Se consideră că izolația celulei a trecut cu succes încercarea dacă nu s-a produs, la nici una din probe, conturnarea sau străpungerea izolației și dacă

nivelul descărcărilor parţiale la cele trei probe efectuate la 1,25 $U_N/\sqrt{3}$ [punctele: a), c) şi e)] a rămas practic acelaşi (nu a crescut).

D. Verificarea izolaţiei circuitelor auxiliare şi secundare se face cu tensiunea de frecvenţă industrială, timp de 1 min.

E. Încercarea la încălzire se execută cu celula cuplată la sursa de curenţi intenşi, în condiţiile corespunzătoare celor mai defavorabile condiţii de exploatare, respectînd procedura din Publicaţia 298 şi 517 a CEI.

F. Măsurarea rezistenţei pe fază şi a căderilor de tensiune pe fază a celulei se face în curent continuu prin metoda punţii sau a voltmetrului şi ampermetrului, asigurînd o precizie de cel puţin 2,5%.

G. Verificarea stabilităţii termice şi dinamice a căii de curent a celulei, postului sau staţiei prefabricate se face, respectînd condiţiile de la cap. 4, prin metoda încercărilor suprapuse, asigurînd componenta aperiodică necesară. În cazul cînd proba suprapusă este imposibil de realizat, încercarea se va putea efectua prin metoda probelor separate de stabilitate termică, respectiv de stabilitate dinamică. Durata probei de stabilitate termică echivalentă nu poate să depăşească 5 s.

H. Capacitatea de rupere şi capacitatea de închidere a întreruptorului, care face parte din celulă, se verifică conform STAS 3686 sau CEI, Publicaţia 56, 289 şi 517.

I. Verificarea rezistenţei la arc electric intern se efectuează în condiţiile unei înţelegeri prealabile speciale dintre furnizor şi cumpărător (constructor şi beneficiar).

J. Anduranţa mecanică a aparatelor de comutaţie, care fac parte din componenţa celulei, se verifică conform prevederilor STAS 3686, cu excepţia numărului de manevre, care în loc de 1 000 este recomandabil să fie crescute la 5 000.

K. Verificarea climatică a celulei se face conform indicaţiilor din Publicaţia 298 şi 517 a CEI.

L. Verificarea gradului de protecţie şi al rezistenţei la precipitaţii a celulei se face conform prevederilor din Publicaţia 517 a CEI.

M. Determinarea pierderilor de gaz se face pentru un interval convenit între furnizor şi cumpărător (pierdere zilnică, săptămînală sau lunară), iar valoarea acestor pierderi se extrapolează liniar pînă la un an, pentru condiţiile de referinţă ale gazului. Pierderile de gaz extrapolate nu trebuie să depăşească 1%/an din cantitatea totală a compartimentelor ermetic închise şi separate între ele.

N. Verificarea conţinutului de umezeală a gazului se face conform procedurii descrise în Publicaţia 376 a CEI.

O. Verificarea rezistenţei mecanice a anvelopei se recomandă să se facă cu o suprapresiune egală cu de circa 5 ori presiunea maximă a gazului în regim normal de funcţionare.

În cadrul *încercărilor individuale* celula se echipează cu două treceri izolate aer-gaz şi este supusă la următoarele probe şi verificări:

a) încercarea cu tensiune de frecvenţă industrială, timp de 1 min, conform STAS 6669, a izolaţiei circuitelor primare;

b) încercarea cu tensiune de frecvență industrială, timp de 1 min, a izolației circuitelor secundare;

c) determinarea nivelului de descărcări parțiale a izolației circuitelor primare, la o tensiune de 1,25 $U_N/\sqrt{3}$, timp de o oră, în bandă largă și/sau îngustă, conform prevederilor CEI 270; în acest interval de timp, nivelul descărcărilor parțiale trebuie să rămînă constant (nu trebuie să crească);

d) determinarea rezistenței ohmice pe fază și a căderii de tensiune pe fază se face ca în cadrul probelor de tip;

e) anduranța mecanică în cadrul probelor individuale se folosește și pentru *rodarea* mecanismelor executînd:

— 75 manevre la presiunea minimă;

— 75 manevre (cicluri) la presiunea maximă;

— 75 manevre (cicluri) la tensiunea minimă a sursei de alimentare a circuitelor de comandă;

— 75 manevre (cicluri) la tensiunea maximă a sursei de alimentare a circuitelor de comandă;

f) verificarea etanșeității îmbinărilor sub presiune se face cu emulsie de săpun la presiunea maximă a compartimentelor sau cu detectoare speciale de SF_6;

g) încercarea circuitelor electrice, pneumatice și hidraulice de comandă, măsură, semnalizare și de protecție se efectuează conform „Instrucțiunilor de fabricație și de control“ sau conform „Instrucțiunilor de montaj și de exploatare“ elaborate de fabrica constructoare și avizate de beneficiar;

h) verificarea rezistenței mecanice a anvelopei se face cu suprapresiunea de 3 ... 5 ori presiunea nominală a gazului.

IV

Încercări specifice ale aparatelor electrice de joasă tensiune

Deosebirea esenţială între aparatele de înaltă şi joasă tensiune constă în felul şi valoarea izolaţiei, în performanţele de ardere şi stingere a arcului electric.

Din punct de vedere al condiţiilor de exploatare, spre deosebire de aparatele de înaltă tensiune, la care are acces numai personalul de strictă specializare sub controlul riguros al respectării regulilor de protecţia muncii, utilizarea aparatajului de joasă tensiune a căpătat o amplă răspîndire, nu numai în industrie, construcţii, agricultură, ci şi în foarte mare măsură în locuinţe, datorită lărgirii gamei de aparate electrocasnice.

Ca urmare, are acces la manevrarea aparatajului de joasă tensiune personalul calificat, dar şi persoane lipsite de calificare tehnică. Aceste considerente implică verificarea în cursul încercărilor atît a siguranţei în funcţionare, cît şi a perfectei asigurări a operatorilor din punct de vedere al securităţii împotriva pericolului de electrocutare.

Condiţiile tehnice generale şi metodele de încercare ale aparatelor electrice de joasă tensiune folosite în instalaţiile de distribuţie sînt specificate în recomandările CEI, CAER (v. Anexa 4) şi în standardele româneşti (v. Anexa 2). În afara încercărilor cuprinse în documentele de mai sus, normele interne departamentale pot să cuprindă verificări experimentale suplimentare (de detaliu), în funcţie de destinaţia concretă a produsului examinat.

În cele ce urmează, ţinînd cont de volumul limitat al cărţii, se descriu numai acele încercări care se practică, în condiţiile întreprinderii constructoare şi ale exploatării, la principalele aparate folosite în staţiile (posturile) de distribuţie de joasă tensiune şi anume la: contactoare, disjunctoare (întreruptoare automate), siguranţe fuzibile de joasă tensiune şi tablouri (celule, cofrete) de distribuţie.

14. Contactoare

14.1. Nomenclatura probelor

Încercările individuale (I), de lot (L), de tip (T), de punere în funcțiune (PF), profilactice (P) și speciale (S) la care sînt supuse contactoarele în condițiile fabricii constructoare și ale exploatării sînt trecute în tabelul 14.1.

Încercările din tabel reprezintă un program maximal de probe pentru diferitele tipuri de contactoare, întocmit pe baza recomandărilor internaționale și a standardelor naționale în vigoare.

Încercările aparatelor în mod obligatoriu sînt însoțite, indiferent de tipul aparatului, de:

— verificarea aspectului, dimensiunilor principale, a distanțelor de străpungere sau de conturnare;

— verificarea bornelor și a posibilităților de racordare.

În cele ce urmează se descriu în primul rînd acele metode care se referă la încercarea contactoarelor de curent alternativ și de curent continuu, acționate pe cale electromagnetică.

Metodele de încercare privind: verificarea izolației (tensiunea de ținere, rezistența de izolație etc.), a căii de curent (încălzire în regim permanent, stabilitate termică și dinamică), a sistemului electromagnetic (mecanismului de acționare a contactelor principale și auxiliare) și a dispozitivului de stingere a arcului electric în principiu nu se deosebesc de cele aplicate și la alte aparate montate în serie în circuitele electrice de forță de înaltă și de joasă tensiune (vezi Cap. 3, 4, 5, 6 și 7). Scopul urmărit însă poate fi diferit așa cum va rezulta din cele ce urmează.

Program general de încercări al contactoarelor de joasă tensiune

Nr. crt.	Denumirea încercării	Încercarea individuală I	Încercarea de lot L	Încercarea de tip T	Încercarea de punere în funcțiune PF	Încercarea profilactică P	Încercarea cu caracter de cercetare S
1	Verificarea dimensiunilor indicate în desenele de ansamblu si subansamble	×	×	×			
2	Verificarea forțelor de apăsare pe contacte	×	×	×	×	×	×
3	Verificarea curselor și distanțelor contactelor	×	×	×			
4	Verificarea distanțelor de străpungere și conturnare			×			
5	Verificarea dimensiunilor bornelor și a posibilităților de racordare a conductoarelor			×			
6	Verificarea condițiilor de funcționare	×	×	×	×	×	×
7	Verificarea căderilor de tensiune	×	×	×	×	×	×
8	Verificarea comportării la umiditate			×			×
9	Verificarea rezistenței de izolație și rigidității dielectrice în stare umedă			×			×
10	Verificarea încălzirii			×			×
11	Verificarea rezistenței de izolație și a rigidității dielectrice în stare caldă			×			
12	Verificarea comportării la vibrații și scuturături			×			×
13	Verificarea rezistenței la uzură sub sarcină			×			×
14	Verificarea rezistenței la uzură mecanică			×			×
15	Verificarea comportării la curent limită termic și dinamic			×			×
16	Verificarea comportării la suprasarcină			×			×
17	Verificarea capacității de închidere și rupere			×			×
18	Verificarea gradului de protecție			×			×

14.2. Verificarea sistemului de contacte

Încercările sistemului de contacte au ca scop verificarea comportărilor la solicitările impuse de stabilirea şi întreruperea frecventă a circuitelor electrice, ţinînd cont de faptul că contactele sînt exploatate, de obicei, în servicii intermitente (SI) şi mai rar în serviciul de durată (SD) sau de scurtă durată (SSD). În acest scop se măsoară astfel de mărimi ca, de exemplu: cursa contactelor (şi inclusiv cursa în contacte), distanţa dintre contactele deschise, cursa armăturii mobile a electromagnetului, forţa de apăsare pe contacte (forţa de precomprimare şi forţa finală), forţa dezvoltată de electromagnet etc.

Interdependenţa dintre unele din aceste mărimi este dată în fig. 14.1, *a*.

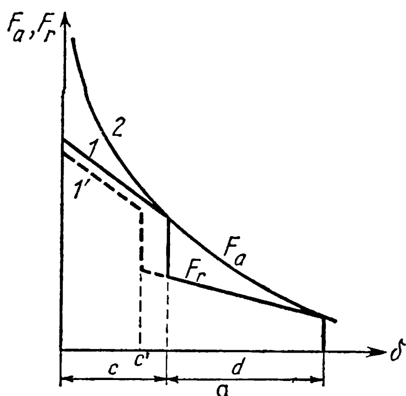


Fig. 14.1. *a*. Interdependenţa dintre cursa electromagnetului δ, cursa în contact *c* şi distanţa între contacte *d*:

F_a — forţa activă a electromagnetului; F_r — forţa rezistentă a arcurilor.

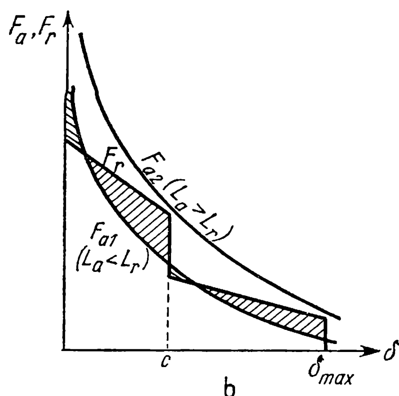


Fig. 14.1, *b*. Variaţia forţei active şi a forţei rezistente funcţie de întrefier.

În timpul funcţionării contactorului, suprafeţele de contact se uzează, ceea ce duce la creşterea distanţei între contacte şi la micşorarea cursei în contact pentru acelaşi întrefier. În acest caz, pentru un întrefier constant, curba *1* va ocupa poziţia *1'*, cursa se micşorează şi forţa rezistentă scade.

Diferenţa de forţă $F = F_a - F_r$ creşte, consecinţa fiind creşterea şocului la închiderea contactelor, ceea ce accelerează procesul de uzură a suprafeţelor de contact şi reacţia continuă în lanţ pînă la pierderea aproape totală a cursei în contact. Pentru a evita acest fenomen, se stabileşte o precomprimare a arcului în poziţia deschis avînd o valoare de 70 ... 75% din forţa totală a arcului în poziţia închis a contactului, iar raportul între cursă şi distanţa dintre contacte se stabileşte în domeniul 0,8 ... 1.

Măsurările se realizează pe o instalaţie specială (fig. 14.2) în condiţiile fabricii constructoare sau prin mijloace adecvate, mai simple, în condiţiile exploatării.

Ținînd cont de specificul funcționării contactorului în serviciu intermitent, în cadrul încercărilor se acordă o atenție specială evaluării frecvenței, duratei și amplitudinii vibrațiilor de sfîrșit de cursă. Problema se complică în acest caz și datorită faptului că au loc două șocuri consecutive: unul la atingerea

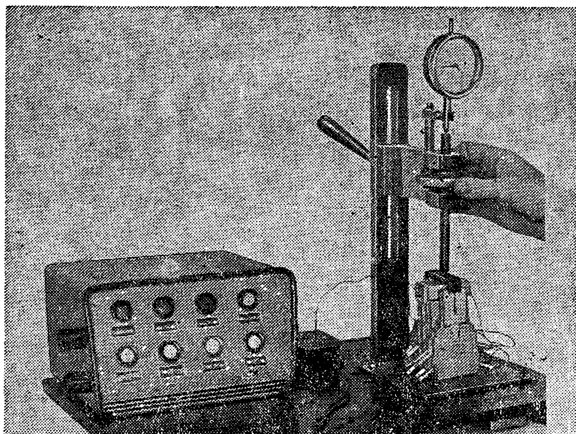


Fig. 14.2. Dispozitiv pentru verificarea cursei și forței în contact.

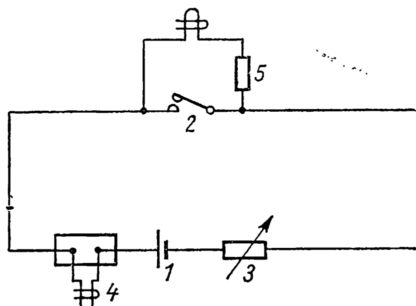


Fig. 14.3. Schema electrică a circuitului pentru măsurarea vibrației contactelor:

1 — sursa de tensiune; *2* — contactele contactorului; *3* — rezistența reglabilă; *4* — circuitul de măsură pentru oscilografierea curentului; *5* — circuitul de măsură pentru oscilografierea tensiunii.

contactelor, iar altul la sfîrșitul cursei armăturii mobile a electromagnetului. Pentru cercetarea acestui fenomen complex de vibrații (care poate să scurteze viața aparatului prin arcul electric intermitent și prin dereglări mecanice) se utilizează schema din fig. 14.3.

Circuitul este alimentat cu o sursă de tensiune *1* de 1 ... 2 V, iar cu rezistența *3* se reglează un curent de 1 ... 2 A.

Parametrii sînt astfel aleși ca să nu se producă arc electric la închiderea contactelor, ceea ce ar denatura rezultatele măsurărilor.

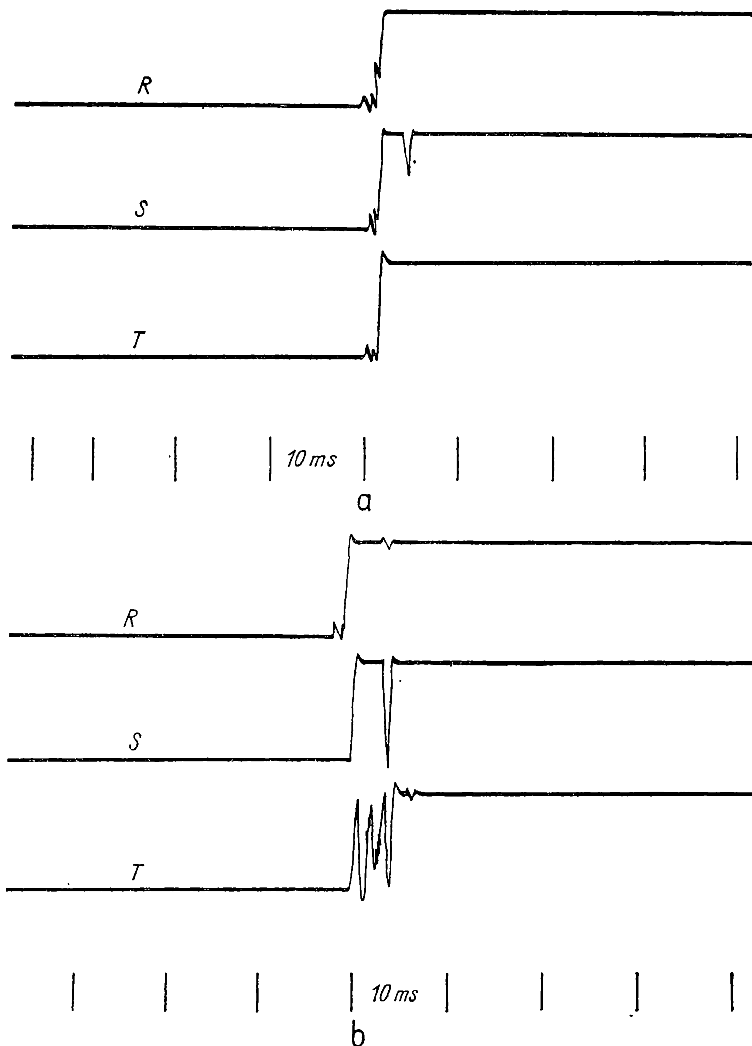


Fig. 14.4. Oscilogramele vibrațiilor unui contactor:
a — vibrația contactelor în limite admisibile: *b* — vibrația contactelor nocivă pentru funcționarea contactorului.

În fig. 14.4 este prezentată oscilograma vibrațiilor unui contactor cu funcționare bună, comparativ cu oscilograma unui contactor similar, în cazul nerespectării concordanțelor expuse mai sus.

Verificarea la uzură mecanică și electrică a pieselor de contact face parte dintr-o analiză aparte (v. subcap. 14.6 și 14.7).

14.3. Încercarea funcționării electromagneților de acționare

Analiza caracteristicii $F = f(\delta)$ a electromagnetului (fig. 14.1) pune în evidență faptul că pentru funcționarea contactorului, pentru închiderea contactelor și punerea în mișcare a echipajului mobil, o condiție necesară este ca forța activă a electromagnetului să se găsească într-un raport favorabil cu forțele antagoniste F_r, care însumează forțele de frecare, forțele arcurilor și masa părții mobile. Rezultanta forțelor antagoniste F_r este o mărime ce depinde de cursă, alura curbei fiind funcție de diversele categorii de forțe rezistente, care se însumează în anumite momente din timpul funcționării aparatului.

Forța activă a electromagnetului este funcție de cursa armăturii mobile, forma curbei depinzînd atît de forma constructivă a circuitului magnetic, cît și de parametrii funcționali.

În fig. 14.1, *b* este reprezentată variația forței active și a forței rezistente în funcție de întrefier. Suprafețele mărginite de curbele $F_r = f(\delta)$ și $F_a = \psi(\delta)$ reprezintă lucrul mecanic ce se opune acționării aparatului (L_r) și respectiv lucrul mecanic pe care-l poate realiza electromagnetul (L_a) [129].

1. Dacă lucrul mecanic necesar aparatului este mai mare decît lucrul mecanic disponibil al electromagnetului, aparatul nu poate fi acționat sau se realizează o acționare incompletă

$$L_a < L_r.$$

2. În situația în care avem o egalitate între lucrul mecanic și cel activ $L_a = L_r$ funcționarea este posibilă, dar nesigură.

3. Acționarea sigură și fermă a aparatului este asigurată prin îndeplinirea condiției

$$L_a > L_r.$$

Lucrul mecanic activ nu poate fi însă oricît de mare. Așa cum s-a arătat la subcap. 1.1 privind vibrația contactelor, dacă avem $L_a \gg L_r$, atunci diferența suprafețelor închise de caracteristica forțelor active și rezistente, reprezintă lucrul mecanic suplimentar L_s, care imprimă pieselor în mișcare accelerații suplimentare, producînd creșterea excesivă a vitezelor pieselor componente a echipajului mobil

$$L_a - L_r = L_s.$$

La fiecare manevră energia cinetică a pieselor în mișcare se consumă integral în piesele fixe prin lovituri puternice producînd deformații permanente.

Reducerea lucrului mecanic suplimentar (L_s) se realizează prin coborîrea curbei $F_a = \psi(\delta)$ sau ridicarea caracteristicii $F_r = f(\delta)$ în așa fel încît să se respecte condiția necesară pentru o bună funcționare.

Încercările la care sînt supuși electromagneții de acționare au ca scop să verifice dacă aceștia pot satisface condițiile limită de funcționare a contactoarelor expuse mai jos.

- Anclanșarea contactoarelor electromagnetice și electropneumatice trebuie să fie asigurată pentru orice tensiune de alimentare de comandă cuprinsă între 85% și 110% din valoarea sa nominală U_s, pentru o temperatură a me-

diului ambiant cuprinsă între — 5°C şi + 40°C. Aceste limite se aplică atît în curent continuu, cît şi în curent alternativ, după caz.

Pentru contactoarele electromagnetice şi electropneumatice tensiunea de declanşare trebuie să fie curprinsă între 75% şi 10% din tensiunea de alimentare de comandă U_s.

Limitele de funcţionare specificate mai sus se verifică în starea caldă a aparatului, respectiv la temperatura de stabilizare sub tensiunea nominală U_s.

● Presupunînd curba forţelor rezistente constantă, la aplicarea unei tensiuni de alimentare de comandă $U = 1{,}1\ U_s$ curba forţei active trebuie să fie astfel situată încît să nu se producă efectul $L_a \gg L_r$. O tensiune de comandă, depăşind această limită, duce în exploatare la uzura excesivă a suprafeţelor polare ale electromagnetului, la arderea bobinelor şi o uzură mecanică prematură a întregului aparat.

La aplicarea unei tensiuni $U = 0{,}85\ U_s$ caracteristica forţei active trebuie să fie în situaţia $L_a > L_r$. Aceasta condiţionează funcţionarea normală a contactorului şi în cazul unei căderi de tensiune în reţea de 15%.

La o cădere de tensiune de avarie, cînd tensiunea ajunge sub 10% U_s, curba forţei active trebuie să fie astfel situată încît $L_a < L_r$, astfel ca deschiderea electromagnetului să se producă ferm provocînd separarea totală a contactelor. În caz contrar contactele continuă să se atingă fără a fi ferm închise, ceea ce are ca urmare o creştere a rezistenţei de contact, o puternică încălzire a contactelor urmată de distrugerea acestora.

Verificarea electromagneţilor de acţionare se execută cu ajutorul schemei din fig 14.5 (vezi şi schemele din cap. 5 al cărţii). Circuitul alimentat printr-un regulator de tensiune RT permite:

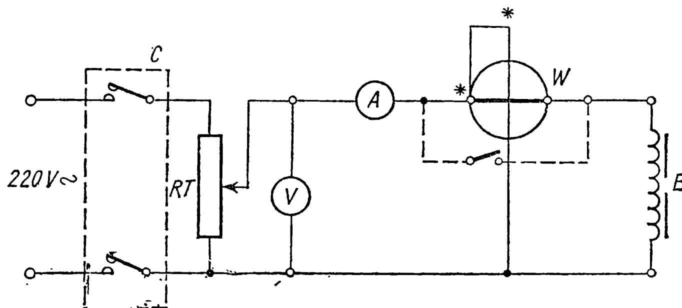


Fig. 14.5. Schema electrică a circuitului pentru încercarea electromagneţilor:
C — contactor de acţionare; *RT* — regulator de tensiune; *E* — electromagnet.

— determinarea curentului absorbit de bobina electromagnetului la anclanşare, pentru diferite poziţii ale armăturii mobile şi pentru diverse valori ale tensiunii de alimentare;

— ridicarea caracteristicilor $F_r = f(\delta)$ şi $F_a = f(\delta)$;

— verificarea limitelor de funcţionare a electromagnetului.

Curbele $I = f(U)$, pentru δ = variabil, se ridică pe cale oscilografică. Pentru $\delta = 0$ această curbă este reprezentată în fig. 14.6 [132].

La creşterea lentă a tensiunii, curentul creşte proporţional cu mărimea tensiunii. La tensiunea de anclanşare U_a (punctul A) se produce închiderea electromagnetului şi scăderea bruscă a curentului (A — B) datorită reluctanţei magnetice. La creşterea în continuare a tensiunii se produce şi o uşoară creştere a curentului absorbit $(B - C)$. Operaţia se continuă pînă la atingerea tensiunii 1,1 U_s. Scăderea tensiunii antrenează şi scăderea curentului, care tinde către zero (punctul D) pentru tensiunea la care trebuie să se producă desprinderea electromagnetului. Dacă electromagnetul nu se deschide ferm sub tensiunea de desprindere (U_d), se produce o creştere bruscă a curentului, mărimea sa fiind în funcţie de cursa electromagnetului în momentul dat. Această creştere accidentală a curentului duce la o încălzire excesivă a bobinei. Dacă însă tensiunea continuă să scadă, electromagnetul se deschide ferm şi curentul va scădea pînă la zero.

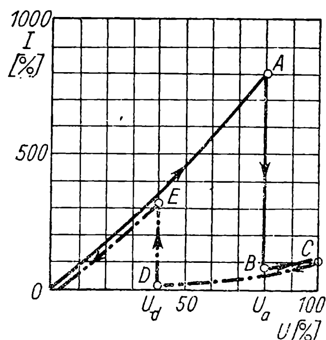


Fig. 14.6. Caracteristica curentului de magnetizare a electromagnetului de acţionare $I = f(U)$.

Raportul curentului de anclanşare către curentul în poziţia închis este în funcţie de construcţia aparatului. La contactoarele uzuale acesta se situează între 8 ... 10.

Ridicarea caracteristicii statice a forţelor antagoniste în funcţie de cursa armăturii mobile se efectuează cu ajutorul dispozitivului din fig. 14.7.

Pentru determinarea caracteristicii forţei active în funcţie de cursa electromagnetului (δ) dispozitivul permite o variaţie în sensul micşorării cursei (întrefierului) cu cîte un milimetru. Forţa necesară pentru deplasarea treptată

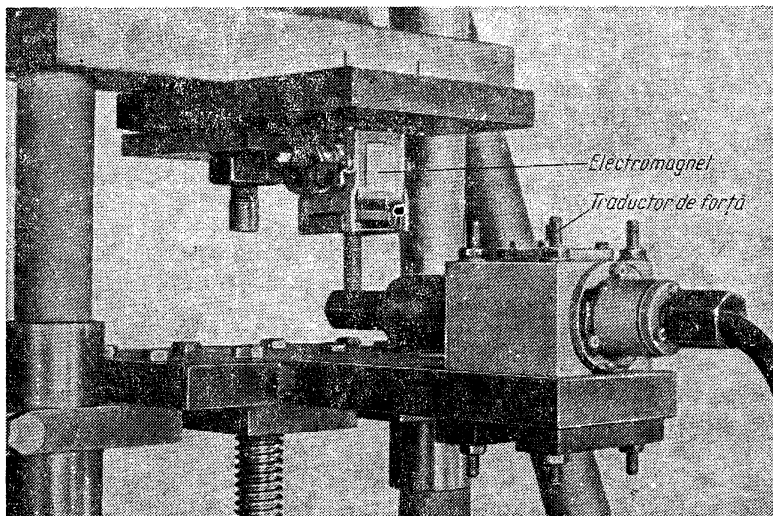


Fig. 14.7. Dispozitiv pentru determinarea caracteristicii forţei active în funcţie de cursa electromagnetului.

cu cîte un milimetru a armăturii mobile a electromagnetului se transmite traductorului, ceea ce are ca urmare variația rezistenței acestuia. Măsurarea se face cu ajutorul unei punți tranzistorizate a cărei scară este etalonată în daN, permițînd înscrierea valorilor corespunzătoare fie manual, fie prin intermediul unui înregistrator cu coordonate XY.

Ridicarea caracteristicii $F_r = f(\delta)$ se face conform indicațiilor din cap. 5 al prezentei lucrări, pe cale oscilografică cu ajutorul buclelor de putere sau prin punți tensometrice.

Verificarea limitelor de funcționare se execută aplicînd bobinei de comandă a contactorului o tensiune reglabilă. Se măsoară temperatura bobinei. Cînd temperatura bobinei este stabilizată se aplică 1,1 U_s, se măsoară curentul absorbit și se verifică din nou încălzirea bobinei pentru a se vedea dacă și la tensiunea 1,1 U_s temperatura înfășurării rămîne în limitele prescrise prin STAS 553-73.

Se verifică nivelul de zgomot produs de electromagnet la această tensiune. Se coboară tensiunea pînă la 0,85 U_s. Armătura mobilă nu are voie să vibreze. Se măsoară din nou nivelul de zgomot. Se întrerupe tensiunea și apoi se aplică brusc 0,85 U_s, verificîndu-se dacă electromagnetul închide ferm contactorul sub această tensiune. Magnetul trebuie să rămînă închis ferm. Se permit ușoare vibrații. Se întrerupe tensiunea de alimentare, după care se aplică 0,7 U_s brusc. Magnetul nu trebuie să poată fi atras. Dacă totuși magnetul se închide, sîntem în prezența unei rezerve de forță, care trebuie evitată din considerentele enunțate anterior. La tensiuni cuprinse între 0,7 U_s și 0,1 U_s magnetul trebuie să se deschidă ferm. Nu este permisă deschiderea contactorului în trepte. Aceasta se realizează prin introducerea în circuitul bobinei a unui contact auxiliar.

Rezultatele încercărilor electromagneților sînt sistematizate ca în tabelul 14.2 care reprezintă valorile obținute la încercările de tip ale unuia din contactoarele de fabricație românească la frecvența de 60 Hz.

Încercările se execută și pentru frecvența de 50 Hz pentru toate tensiunnile de alimentare de comandă.

14.4. Încercarea la încălzire

Încălzirea diverselor părți ale contactorului încercate după metodele indicate în cap 4, nu trebuie să depășească valorile limită indicate în STAS sau NID.

Circuitul principal al unui contactor, nu trebuie să depășească limitele admise în următoarele condiții:

— sub curentul nominal termic pentru contactoarele prevăzute a funcționa în serviciu neîntrerupt de 8 h;

— sub curentul de utilizare pentru contactoarele prevăzute a funcționa în serviciile de durată, de scurtă durată, sau în serviciu intermitent.

Înfășurările bobinelor, inclusiv cele ale electroventilelor, trebuie să suporte, cînd circuitul principal este parcurs de curent, în regim continuu la frec-

Tabelul 14.2

Verificarea electromagneților de acționare a contactoarelor la frecvența $f = 60$ Hz

U_n V	Aparat nr	R_r Ω	R_c Ω	θ_{ar} °C	θ_{ac} °C	θ °C	I_b A	U_i V	U_d V	Numărul de spire	Diametrul conductorului mm
24	1	4,8	6,4	22	23	85	0,525	14,8	10	396	0,4
	2	4,8	6,45			87	0,540	16,5	11,5		
	3	4,9	6,55			85,5	0,535	16,5	11,5		
	4	4,9	6,5			83	0,530	17,5	11,5		
	5	4,8	6,55			89	0,545	18	12,5		
42	1	11,8	14,8	20	22	65	0,305	25	19	690	0,35
	2	11,9	14,9			64,5	0,330	24	18		
	3	11,9	15			65	0,325	25	19		
	4	12,4	15,6			66	0,340	29	14		
	5	12,5	15,7			66	0,330	31	23		
110	1	96	120	23	22	64,5	0,1275	88	70	1810	0,2
	2	96	124			75	0,1275	74	58		
	3	84	107			71	0,127	80	70		
	4	94	125			85	0,132	64	42		
	5	84	105			65	0,132	74	64		
220	1	365	440	21,5	22	67	0,0575	112	84	3620	0,14
	2	394	500			70	0,060	160	116		
	3	377	475			67	0,0575	140	120		
	4	368	475			73	0,062	152	112		
	5	398	500			66,5	0,061	172	132		
380	1	1360	1755	23,5	23	75	0,033	240	168	6270	0,1
	2	1355	1750			76,5	0,0345	248	184		
	3	1350	1755			78	0,033	296	184		
	4	1375	1800			80	0,036	232	152		
	5	1360	1755			75	0,036	316	248		
500	1	2810	3640	26,5	26,5	77	0,026	392	272	8250	0,08
	2	2420	3330			89	0,034	400	256		
	3	2570	3500			84	0,026	344	240		
	4	2570	3400			88	0,028	328	245		
	5	2630	3450			82	0,026	320	220		

Notă. Simbolurile utilizate au următoarele semnificații: R_r — rezistența măsurată în stare rece; R_c — rezistența măsurată în stare caldă; I_b — curentul absorbit de bobină la $\delta = 0$; U_i — tensiunea de anclanșare; U_d — tensiunea de declanșare.

venţa nominală, tensiunea nominală fără ca încălzirea să depăşească limitele indicate mai sus.

În absenţa curentului în circuitul principal, sub frecvenţa şi tensiunea nominală, fără a depăşi limitele specificate de încălzire, înfăşurările bobinelor dispozitivelor de acţionare ale contactoarelor funcţionînd în serviciu intermitent, clasele 0,1 ... 10, conform STAS 4479—74 trebuie să poată suporta următoarele frecvenţe de conectare (cicluri de manevră):

Clasa de serviciu intermitent a contactorului	Durata unui ciclu de închidere-deschidere	Durata menţinerii alimentării bobinei de acţionare
0,1	300 s	180 s
0,3	120 s	72 s
1	30 s	18 s
3	12 s	4,8 s
10	3 s	1,2 s

În VDE 0660/1 din 1968 se prevede pentru încercarea la încălzirea bobinei electromagnetului de acţionare a contactorului utilizarea uneia din metodele expuse mai jos:

a. Se încearcă bobina la încălzire sub tensiunea nominală de alimentare de comandă. În cazul acesta se mai face o încercare suplimentară de durată. Bobina se alimentează cu 1,1 U_s şi se menţine în această stare timp de 4 luni. După scurgerea acestui interval de timp se face o probă de încălzire timp de 24 h sub tensiunea nominală de comandă U_s, în serviciu intermitent, cu frecvenţa de conectare cea mai mare pentru care este prevăzut contactorul. În aceste condiţii încălzirea bobinei nu trebuie să depăşească încălzirea admisibilă.

b. Se încearcă bobina la încălzire cu o tensiune egală cu 1,1 U_s. În cazul acesta supratemperatura măsurată nu trebuie să depăşească supratemperatura prescrisă. Dacă această condiţie este îndeplinită nu mai este necesară încercarea de la punctul a.

14.5. Verificarea capacităţii de comutaţie a contactoarelor

Metodele de verificare a capacităţii de închidere şi rupere ale aparatelor de comutaţie de înaltă şi joasă tensiune au fost amănunţit expuse în cap. 7.

Particularităţile ansamblului de încercări pentru verificarea capacităţii de comutaţie a contactoarelor rezultă din utilizarea acestora în circuitele de forţă şi comandă, cu precădere pentru acţionarea motoarelor.

În tabelul 14.3 sînt simbolizate principalele utilizări în curent alternativ (AC) şi curent continuu (DC) în ordinea crescîndă a solicitărilor impuse contactoarelor, derivate din regimul de lucru al receptoarelor.

Condiţiile pentru verificarea capacităţii de închidere şi rupere în funcţie de diversele categorii de utilizare sînt standardizate (STAS 4479-74) (v. anexa 2).

În condiţiile întreprinderii constructoare încercarea se execută în staţii alimentate de la reţea sau de la sursă proprie de energie, respectiv generatoare.

Tabelul 14.3

Categoriile de utilizare ale contactoarelor

Felul curentului	Categoria	Utilizări
Curent alternativ	AC-1	Sarcini neinductive sau slab inductive (cuptoare electrice)
	AC-2	Motoare cu inele; pornire și inversarea sensului de rotație
	AC-3	Motoare cu rotorul în scurtcircuit; pornire, întrerupere motor lansat
	AC-4	Motoare cu rotorul în scurtcircuit; pornire, mers în șocuri și inversarea sensului de rotație
Curent continuu	DC-1	Sarcini neinductive sau slab inductive (cuptoare cu rezistențe)
	DC-2	Motoare derivație; pornire; întrerupere motor lansat
	DC-3	Motoare derivație; mers cu șocuri, inversarea sensului de rotație
	DC-4	Motoare serie; întreruperea motoarelor serie lansate
	DC-5	Motoare serie; mers cu șocuri, inversarea sensului de rotație

Înainte de a fi supus la verificarea capacității de închidere și rupere se face o examinare tehnică amănunțită a contactorului cu privire la: respectarea forței de apăsare pe contacte, cursei și distanței între contacte. Se măsoară nivelul de vibrație a contactoarelor, se verifică funcționarea electromagnetului conform metodelor expuse anterior. Se verifică integritatea camerei de stingere și a izolației dintre faze.

Numai după această verificare amănunțită contactorul se montează pe suport în poziția de funcționare recomandată și echipat ca pentru exploatare.

Legăturile contactorului cu sarcina (receptor) se execută cu conductoare de dimensiuni similare cu cele recomandate a fi utilizate în exploatare.

Părțile conductorului, care urmează a fi legate la centura de pămînt, trebuie să fie legate la punctul neutru al sursei, care să permită un curent prezumat de defect de minimum 100 A. Legătura se execută cu un fir fuzibil de Cu de 0,1 mm diametru și lungimea minimă de 50 mm, care are rolul de a detecta curentul de defect.

Schema electrică utilizată pentru regimurile AC 3 și AC 4 este cea indicată în fig. 14.8.

Circuitul de încercare este format din următoarele elemente: sursa de alimentare; aparatul de încercat; circuitul de sarcină.

Sursa de alimentare trebuie să fie astfel aleasă încît la bornele contactorului curentul prezumat de scurtcircuit să fie egal cu de 10 ori valoarea curentului de încercare sau 50 kA.

Circuitul de sarcină trebuie să cuprindă rezistențe montate în serie cu inductanțe fără fier. Pentru a amortiza supratensiunile, care nu ar corespunde condițiilor reale de exploatare, se montează în paralel cu sarcina $(R + L)$ rezistențe sau condensatoare.

Elementele circuitului de sarcină sînt reglate pînă la obținerea, sub tensiunea prescrisă, a mărimilor recomandate pentru următorii parametrii (STAS 4479-74):

— curentul și factorul de putere;
— frecvența de oscilație a tensiunii de restabilire și valoarea factorului de amplitudine;

Frecvența de oscilație a tensiunii tranzitorii de restabilire a circuitului de sarcină trebuie să aibă valoarea

$$f = 2000\ I_r^{0,2} U_e^{-0,8} \pm 10\%.$$

Valorile frecvenței de oscilație se determină pe baza curentului de încercare I, independent de valoarea curentului de utilizare I_e al aparatului.

În diagrama din fig. 14.9 se indică valorile frecvenței de oscilație, în funcție de curentul de încercare pentru valori uzuale ale tensiunii de utilizare. Valorile sînt determinate pentru circuitul complet echipat cu cabluri, circuite de măsură etc. [128].

Modalitatea de reglare a circutiului de sarcină și de înregistrare a parametrilor circuitului sînt descrise în cap. 7.

Verificarea capacității de închidere. Curentul de închidere se reglează la valoarea prescrisă în Anexa 7 în funcție de categoria de utilizare.

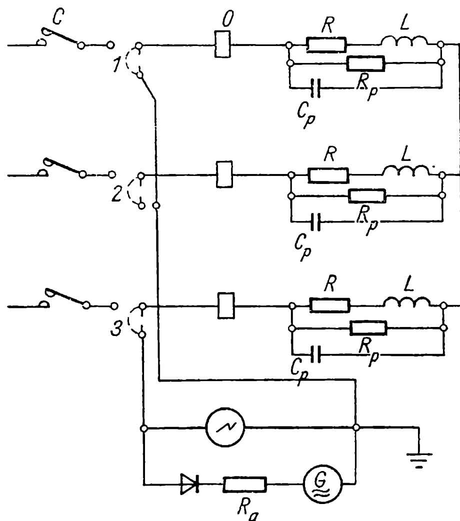


Fig. 14.8. Schema electrică a circuitului pentru verificarea capacității de închidere și rupere:

R, L — rezistențe și inductanțe; R_p, C_p — rezistența și capacitatea pentru reglarea factorului de oscilație a tensiunii; R_a — rezistența de amortizare; G — generator de înaltă frecvență; S — sursa; C — contactorul de încercat; O — circuitul de măsură a oscilografului pentru măsurarea curentului.

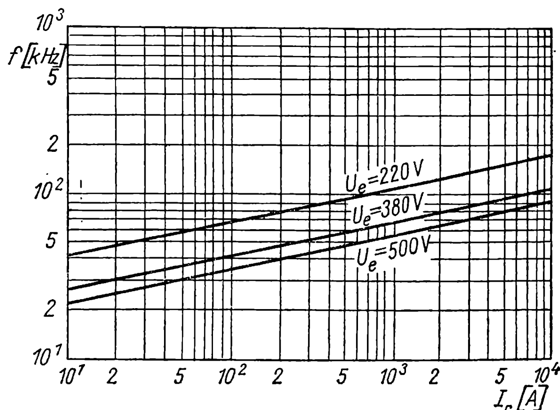


Fig. 14.9. Diagrama frecvenței de oscilație funcție de curentul de încercare (rupere) I_r și de tensiunea de utilizare U_e.

Numărul de manevre ce urmează a fi executat depinde de asemenea de categoria de utilizare în felul următor:

Pentru contactoarele cu categoria de utilizare AC 3 sau AC 4 numărul de manevre este 100. Un număr de 50 de manevre sînt realizate cu 85% din tensiunea nominală de alimentare a bobinei, iar alte 50 respectiv cu 110% U_s. În aceleași limite se variază presiunea dacă acționarea este pneumatică.

Pentru categoriile de utilizare AC 1 și AC 2, se execută numai 20 de manevre, din care 10, cu 85% și 10 cu 110% din tensiunea nominală de alimentare a bobinei sau respectiv a presiunii dispozitivului pneumatic.

Durata minimă în care contactele trebuie să fie parcurse de curent este de 50 ms, pentru a depăși durata de vibrații a contactelor.

Verificarea capacității de rupere. Se reglează în circuit curentul prescris în funcție de categoria de utilizare, toți ceilalți parametrii ai circuitului de forță și de sarcină fiind reglați și măsurați cum s-a arătat mai sus.

Durata fiecărei treceri a curentului nu trebuie să depășească 0,5 s, iar intervalul de timp între două manevre succesive este cuprins între 5 și 10 s.

Interpretarea rezultatelor. Rezultatul încercărilor se consideră satisfăcător, dacă, în cursul verificării capacității de închidere și a capacității de rupere nu s-au produs următoarele fenomene negative:

— arc permanent;
— amorsarea arcului electric între fazele învecinate;
— fuziunea elementului fuzibil legat la neutrul izolat al sursei;
— sudarea contactelor.

14.6. Verificarea capacității de închidere și rupere a contactelor auxiliare a contactoarelor pentru motoare

Contactele auxiliare ale contactoarelor sînt destinate a fi utilizate în circuitele secundare (de comandă) ale instalațiilor electrice, cu scopul de a transmite impulsuri de comandă, de semnalizare, de blocare electrică etc.

Pentru contactele auxiliare a căror utilizare principală este comanda deschiderii și închiderii electromagneților, categoriile de utilizare recomandate de prescripțiile CEI 337-1 din 1970 și adoptate în STAS 4479-74 sînt AC11 pentru curent alternativ și DC 11 pentru curent continuu, fiecare din aceste categorii de utilizare fiind caracterizată de valorile convenționale de conectare și de întrerupere a curenților în condiții prescrise [133].

Încercarea se face la curenții și tensiunile de utilizare indicate pentru condiții anormale de utilizare.

Aparatul se montează ca în condițiile de exploatare.

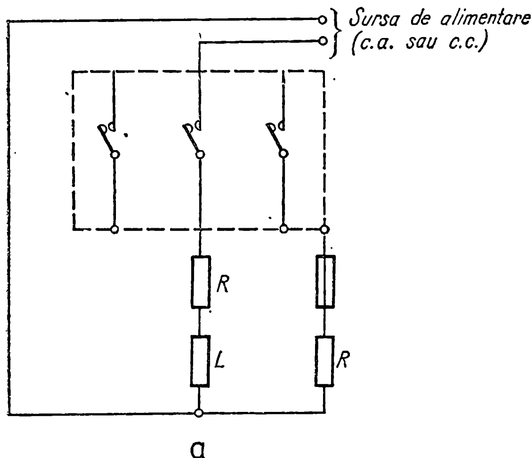
Bornele elementelor de contact considerate a fi separate electric de contactul care se supune încercării trebuie să fie legate în circuit cum se indică în schema din fig. 14.10, *a*.

Cînd contactorul are mai multe elemente de contact identice, se încearcă numai acela care se presupune că ar prezenta pericolul de a amorsa arc față de masă sau piesele învecinate.

În cazul a două elemente de contact învecinate, considerate separate electric, încercarea de închidere și rupere se face simultan pe ambele elemente, utilizînd schema din fig. 14.10, *b*. Numărul de manevre: 50 în curent alternativ; 20 în curent continuu. Pauza între două cicluri succesive de manevre este cuprinsă între 5 ... 10 s. Durata de trecere a curentului este minimum 0,5 s.

Circuitul de sarcină. Pentru curentul alternativ se utilizează inductanțe fără fier în serie cu rezistența care se reglează de așa natură încît să se obțină factorul de putere cos $\varphi = 0{,}7$. Circuitul de sarcină se leagă în aval de elementul de contact încercat. Impedanța sursei nu trebuie să depășească în nici un caz 10% din impedanța totală. Sarcina astfel modelată are rolul de a simula bobina unui contactor cu circuitul magnetic deschis.

Pentru curent continuu se utilizează inductanțe cu fier în serie cu rezistența, calculate astfel pentru a se obține constanta de timp $T_{0,95}$ așa cum este indicat în prescripțiile CEI-337-1.



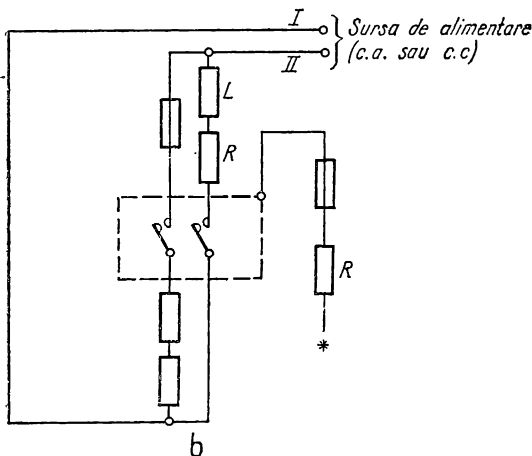


Fig. 14.10. Schema electrică a circuitului pentru verificarea capacității de rupere a contactelor auxiliare:
a — cînd se verifică un singur element de contact; *b* — cînd se verifică două elemente de contact alăturate.

14.7. Verificarea rezistenței la uzura mecanică a contactelor principale

Verificarea rezistenței mecanice are ca scop determinarea duratei de viață mecanică, respectiv numărul de cicluri înăuntrul căruia se poate garanta funcționarea aparatului la parametrii prescriși.

Pentru această probă aparatele se montează pe cadru în poziția de funcționare din exploatare. Căile principale nu sînt alimentate. Bobina se alimentează cu tensiunea nominală. Serviciul este intermitent, frecvența aleasă

corespunde clasei de serviciu pentru care este garantat aparatul, aşa cum se specifică mai jos.

Clasa	0,03	0,1	0,3	1	3	10
Frecvenţa de acţionare, Cicluri/oră	3	12	30	120	300	1200

Comanda circuitului se realizează fie cu ajutorul unui programator cu came profilate, fie cu cronometre de contact.

Acestea fiind condiţiile limită impuse de standarde, producătorul poate executa încercările cu o frecvenţă mai mare în scopul micşorării timpului de încercare.

În cazul contactoarelor electromagnetice sau electropneumatice, durata de alimentare a bobinei trebuie să fie mai mare decît durata manevrei de închidere, iar timpul cît bobina rămîne nealimentată trebuie să fie suficient pentru a permite contactorului să atingă poziţia deschis.

Pe durata probelor de uzură mecanică se fac următoarele verificări şi măsurări:

a) verificarea încălzirii bobinei;
b) examinarea suprafeţelor polare ale electromagnetului şi măsurarea întrefierului;
c) verificarea cursei în contact;
d) verificarea dimensională a unor repere supuse unei solicitări mecanice intense.

Numărul total de manevre, care trebuie efectuat, este reglementat de STAS 4479-74. Exprimat în milioane de cicluri poate fi ales din următorul şir de manevre preferenţiale:

$$0{,}001-0{,}003-0{,}01-0{,}03-0{,}1-0{,}3-1-3-10.$$

După proba de uzură mecanică contactorul nu trebuie să prezinte fisuri, desfacerea sau slăbirea legăturilor la conductoarele bornelor de racordare. De asemenea, contactorul trebuie să funcţioneze corect în limitele de tensiune şi temperatură impuse de norme.

14.8. Verificarea rezistenţei la uzura electrică a contactelor principale

Contactoarele şi în special cele electromagnetice sînt supuse, datorită utilizării lor din ce în ce mai intense în scheme de automatizare, la frecvenţe mari de conectare sub sarcină.

Specificul funcţionării contactoarelor în acest regim constă în faptul că, în momentele de declanşare şi chiar la anclanşare, între contacte se produce arc electric a cărui durată şi efect sînt funcţie de proprietăţile circuitului electric în care lucrează aparatele.

Încercarea sintetică la uzură electrică, ce se execută în laborator, modelează condiţiile de exploatare şi are ca scop să verifice, nu numai comportarea pieselor de contact sub sarcină, ci şi comportarea celorlalate subansamble ale

contactorului, piesele din materiale termorigide şi termoplaste, arcuri etc., sub influenţa efectelor termice şi electrodinamice produse de arcul electric.

Mărimea uzurii se apreciază prin pierderea de masă a contactelor, indiferent dacă metalul se depune în întregime pe contactul opus sau se volatilizează.

Condiţiile de încercare la uzura electrică sînt specificate în Anexa 8 în funcţie de categoria de utilizare.

Încercările directe pe motoare nu s-au dovedit posibile, ca urmare a necesităţii de a introduce în circuit, în afară de motoare de încercat în număr foarte mare şi a dispozitivelor de frînare, ceea ce complică în foarte mare măsură schemele şi instalaţiile de încercare. În afară de aceasta, ar fi trebuit să se găsească motoare care să suporte fără să se deterioreze efectele termice şi mecanice ale unui număr mare de manevre impus de normele contactoarelor.

Schemele sintetice şi valorile convenţionale înscrise în norme şi standarde se bazează pe numeroase experimentări ale regimurilor tranzitorii [134 ... 137], ce au loc la conectarea şi deconectarea de la reţea a motoarelor prin intermediul contactoarelor.

Valoarea curentului la închidere reproduce curentul de pornire al motorului.

La deconectare, datorită inductanţelor proprii a statorului şi rotorului $L_1 L_2$, ca şi inductanţei mutuale dintre ele M, tensiunea la contactele contactorului este egală cu diferenţa dintre tensiunea aplicată şi tensiunea electromotoare proprie. De aici rezultă valorile menţionate în Anexa 8 de $U/U_e =$ $= 0{,}17$ şi $\cos \varphi = 0{,}35$ pentru categoria de utilizare AC 3.

Timpul de menţinere a curentului maxim de pornire are o importanţă hotărîtoare pentru procesul de uzură electrică a contactelor. Cu toate acestea, durata curentului de închidere nu este prevăzută în nici una din recomandările internaţionale.

La efectuarea încercărilor de uzură electrică în laboratorul întreprinderii Electroaparataj, s-au avut în vedere următoarele considerente:

durata curentului de închidere 6 I_e trebuie astfel aleasă, încît curentul echivalent conform fig. 14.11, *b* în circuitul de încercare sintetică (conform fig. 11.14, *b*) să nu depăşească curentul de utilizare al motorului (v. fig. 14.11, a).

Pentru a obţine solicitarea termică echivalentă, trebuie respectată condiţia disipării unor puteri active egale

$$I_c^2 t_c = (6\, I_e)^2 t_p + I_e^2 (t_l - t_p) \tag{14.3}$$

unde: $6I_e = I_p$ este curentul de anclanşare;
I_c — curentul echivalent în circuit;
I_e — curentul de utilizare;
t_l — timpul de lucru;
t_p — timpul de pornire.

Ţinînd seama că $t = t_c \cdot \mathrm{DC}$

unde: $t_c = \dfrac{3\,600}{f_c}$;

f_c — frecvenţa de conectare;
DC — durata de conectare;

rezultă
$$I_c = I_e \sqrt{9{,}72 \cdot 10^{-3}\, t_p f_c + \mathrm{DC}}. \tag{14.4}$$

Din relația de mai sus se vede că există o legătură univocă între curentul echivalent I_c, curentul nominal de utilizare I_e, durata t_p a curentului de închidere, frecvența de conectare f_c și durata de conectare DC.

Fig. 14.11. Determinarea curentului echivalent al contactorului pentru pornirea motoarelor:
I_p — curentul de pornire al motorului; I_d — curentul de plină sarcină a motorului care se întrerupe.

Pentru satisfacerea condiției (indicate în recomandările CEI) ca în circuitul de încercare, curentul echivalent să fie egal cu cel de utilizare

$$I_c = I_e$$

se impune: $9{,}72 \cdot 10^{-3} t_p f_c + \mathrm{DC} = 1$, (14.5)

care reprezintă o realție între frecvență, durată de conectare și timpul de pornire, respectiv

$$\mathrm{DC} = 1 - 9{,}72 \cdot 10^{-3} t_p f_c. \quad (14.6)$$

Pentru efectuarea încercărilor sintetice, utilizînd relația dedusă mai sus, rezultă următoarele corespondențe, menționate în tabelul 14.4, între timpul de menținere a curentului de închidere, frecvența de conectare și durata de conectare.

Circuitul de încercare la uzura electrică se compune din următoarele părți principale:

a) transformatoarele de putere T_1 și T_2 destinate alimentării circuitului cu 6 I_e și I_e la tensiunile U_n și respectiv 0,17 U_n;

b) contactoarele de comutație C_1 și C_2 destinate deconectării curentului de 6 I_e și stabilirii curentului I_e, pe care-l deconectează aparatul de încercat;

c) dispozitivele de programare pentru realizarea ciclului de manevre și sincronizarea funcțiilor contactoarelor de comutație C_1, C_2 și contactoarelor de încercat $C_{x1} \ldots C_{xn}$;

d) sarcinile inductive și rezistive formate din bobine de reactanță fără fier și rezistențe.

Tabelul 14.4

Corelarea timpului de menținere a curentului de anclanșare cu durata și frecvența de conectare la verificarea uzurii electrice a contactoarelor

Durata de conectare la uzura electriă %	Frecvența de conectare la încercarea la uzura electrică			
	t_p = 0,1 s	t_p = 0,2 s	t_p = 0,5 s	t_p = 1 s
60	400	200	80	40
40	600	300	120	60
25	800	400	150	80
15	900	500	180	90
10	1000	500	200	100

Circuitul este astfel conceput ca să permită încercarea simultană a unui număr n de aparate în funcție de puterea transformatorului, folosind același program. Schema care permite încercarea independentă a aparatelor și retragerea fără întreruperea circuitului a aparatelor uzate și introducerea celor noi este reprezentată în fig. 14.12.

Contactorul auxiliar C_2 se închide (C_1 fiind deschis) stabilind la bornele contactorului de încercat C_x tensiunea nominală.

Sarcinile R și L sînt astfel alese încît la închiderea contactorului C_x se stabilește în circuit curentul de închidere $I_p = 6\ I_e$,

$$\text{unde: } I_p = \frac{U}{\sqrt{3}\ \sqrt{R^2 + X_L^2}}; \tag{14.7}$$

$$\cos\ \varphi = 0{,}35 = \frac{R}{R^2 + X_L^2}.$$

Contactorul C_x fiind închis se deschide contactorul C_2 întrerupînd curentul $I_p = 6\ I_e$ și se închide C_1 alimentînd circuitul cu tensiunea $U_r = 0{,}17\ U_e$ furnizată de un transformator T.

Sarcinile rămînînd aceleași, curentul scade la I_e, iar factorul de putere rămîne același

$$I_e = \frac{I_p}{6} = \frac{0{,}17\ U}{\sqrt{3}\ \sqrt{R^2 + X_L^2}}. \tag{14.8}$$

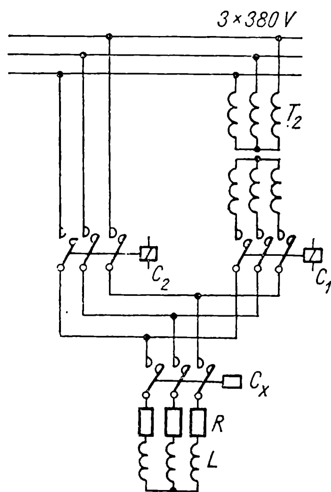


Fig. 14.12. Schema electrică pentru încercarea contactoarelor la uzura electrică.

După stabilirea parametrilor necesari se deschid: aparatul de încercat C_x, contactorul C_1 și ciclul se repetă.

În locul contactorului C_x se pot monta n contactoare în serie pe același circuit de sarcină conform schemei din fig. 14.13.

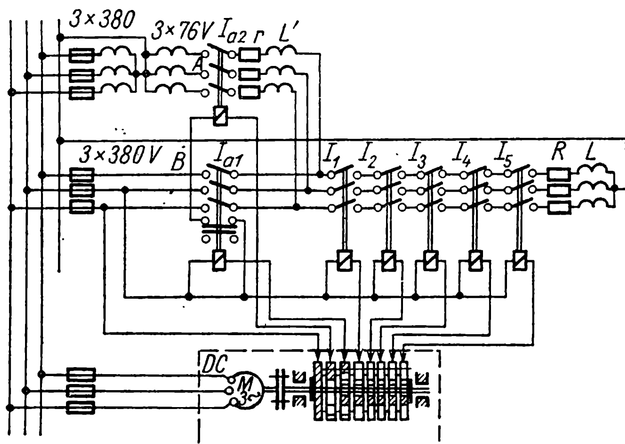


Fig. 14.13. Schemă electrică pentru cazul cînd se încearcă și cinci contactoare în serie la uzură electrică.

Numărul de manevre depinde de clasa de utilizare a aparatului.

Aparatul trebuie să suporte cel puţin 1/20 din numărul de manevre impus pentru uzura mecanică.

Aprecierea rezultatelor încercării. În timpul efectuării ciclurilor de manevre sub sarcină, masa contactelor scade datorită evaporării şi transportului de material. Micşorarea grosimii contactului duce la scăderea cursei şi presiunii, ceea ce are ca efect creşterea rezistenţei de contact şi a temperaturii punctului de contact, cu consecinţe negative asupra uzurii.

Ca urmare, standardul 4479-74 prevede că încercare se consideră satisfăcătoare, dacă după terminarea probelor, cursa în contacte reprezintă mai mult de 20% din cea iniţială, dar nu mai puţin de 0,5 mm.

De asemenea, aparatul trebuie să mai suporte, fără să se producă sudura contactelor, un număr de 10 acţionări, iar limitele sale de funcţionre să corespundă condiţiilor impuse, indicate în subcap. 14.3.

14.9. Verificarea uzurii electrice a contactelor auxiliare

Condiţiile de încercare a contactelor auxiliare se deosebesc de condiţiile de încercare ale contactelor principale, ceea ce face ca instalaţia generală de încercare la uzură electrică, să fie deosebit de complexă.

Schemele de încercare sînt identice cu cele utilizate pentru verificarea capacităţii de rupere indicate în fig. 14.10, cu deosebirea că ciruitul de sarcină va fi înlocuit cu cel din fig. 14.14, *a* în cazul unor vibraţii a contactelor

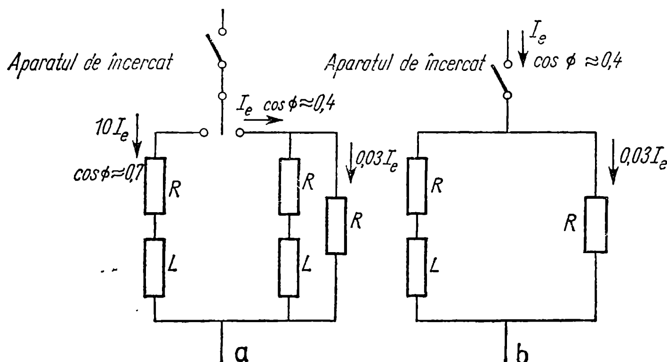


Fig. 14.14. Schema electrică de încercare a contactelor auxiliare: *a* — circuit de sarcină pentru încercarea la uzura electrică a contactelor auxiliare , în cazul că vibraţia contactelor depăşeşte 3 ms; *b*—circuit de sarcină simplificat pentru contactele auxiliare cînd vibraţiile la închidere nu depăşesc 3 ms.

depăşind 3 ms sau cu cel simplificat din fig. 14.14, *b* în cazul cînd vibraţia contactelor este sub 3 ms.

Reglarea circuitului de sarcină. În curent alternativ se foloseşte un circuit conform fig. 14.14 care cuprinde:

— un circuit de închidere format din inductanţe fără fier, în serie cu rezistenţe astfel ca să se obţină un factor de putere, $\cos\varphi = 0{,}7$;

— un circuit de rupere format din inductanţe fără fier în serie cu rezistenţe, ambele legate în paralel cu o rezistenţă parcursă de 3% din curentul

de rupere I_e; parametrii se aleg astfel ca factorul de putere în circuitul de deschidere să fie cos $\varphi = 0,4$;

În curent continuu circuitul de încercare va fi acelaşi cu cel indicat la condiţiile de rupere a contactelor auxiliare.

Modul de încercare a uzurii electrice a contactelor auxiliare. Parametrii circuitului vor fi cei specificaţi în STAS 4480-74 rubrica „condiţii normale de utilizare" (v. anexa 13).

Durata de trecere a curentului va fi cuprinsă între 10% ... 50% din durata unui ciclu de manevrare.

Încercarea se consideră satisfăcătoare dacă nu s-au produs următoarele defecţiuni:

— sudarea contactelor, arc prelungit, întreruperea continuităţii curentului, sărirea arcului la masă sau la o fază vecină;

— după terminarea încercării, contactele auxiliare trebuie să suporte o nouă încercare de rigiditate dielectrică fără să se producă străpungerea materialelor electroizolante.

14.10. Încercarea contactoarelor în regim capacitiv (comutarea bateriilor de condensatoare)

Contactoarele sînt utilizate şi la conectarea şi deconectarea de la reţea a bateriilor de condensatoare pentru îmbunătăţirea factorului de putere.

Conectarea şi deconectarea de la reţea a condensaroarelor dau naştere la fenomene tranzitorii, care reprezintă pentru contactor o solicitare de care trebuie să se ţină seama la stabilirea condiţiilor de încercare.

Curentul total în cazul conectării unui condensator la o sursă de curent alternativ are expresia

$$i = I\left[\cos(\omega t + \varphi) + \frac{\sin\varphi}{\omega CR} e^{\frac{-t}{T}}\right]. \qquad (14.9)$$

Situaţiile limită care pot interveni sînt următoarele:

a) $\varphi = 0$, unde φ este unghiul de fază al curentului. Acest caz corespunde trecerii curentului prin valoarea sa maximă. Componenta asimetrică a curentului e nulă. Tot nulă este şi componenta liberă a tensiunii aplicate. În circuit se stabileşte regimul normal.

Dacă rezistenţa R a circuitului are o valoare mică, acest caz corespunde comutării într-un moment apropiat de trecerea prin valoarea zero a tensiunii.

b) $\varphi = 90°$. Curentul trece prin valoarea zero în momentul conectării. Componenta asimetrică a curentului are valoarea maximă. Acest curent este determinat de raportul dintre reactanţa capacitivă şi rezistenţa circuitului. Deoarece în circuitele de curent alternativ rezistenţa este, în general, foarte mică, curentul asimetric poate depăşi considerabil curentul simetric.

Componenta asimetrică a tensiunii atinge valoarea maximă egală cu amplitudinea tensiunii simetrice a condensatoarelor.

În concluzie, dacă rezistenţa circuitului este mică şi capacitatea sa este mare, cazul cel mai nefavorabile în care se obţin curenţii şi tensiunile maxime, corespunde stabilirii curentului în apropierea trecerii tensiunii prin valoarea sa maximă şi curentului prin zero.

În cazul conectării la rețea a bateriei multiple, apar curenți tranzitorii de valoare ridicată datorită faptului că în momentul conectării unei trepte există în funcțiune un număr de alte trepte ale bateriei de condensatoare derivate. Acest mod de funcționare este impus de necesitatea adaptării bateriei la curba de sarcină reactivă a consumatorului, pentru reducerea pierderilor active din rețea.

În cazul contactoarelor, fenomenele tranzitorii analizate creează solicitări deosebite pentru contacte în procesul de întrerupere.

Condițiile de încercare la uzură în circuite capacitive nu sînt standardizate. Metoda de încercare a fost elaborată de I.C.P.E. în colaborare cu laboratorul Întreprinderii Electroaparataj.

Circuitul de încercare a fost format din sursa de alimentare, aparatul de încercat și sarcina formată din baterii multiple de condensatoare conform schemei electrice din fig. 14.15.

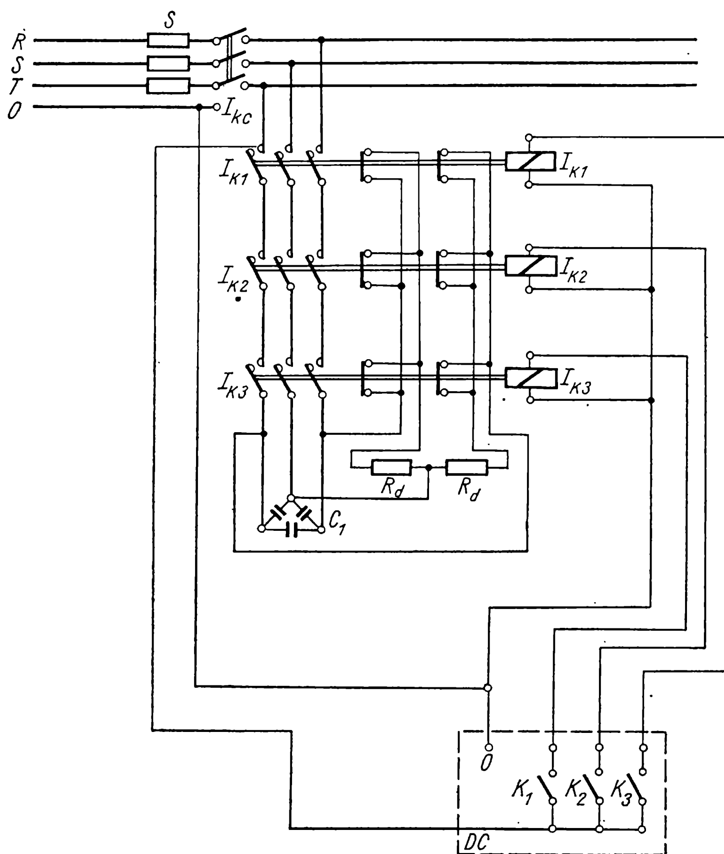


Fig. 14.15. Schema electrică pentru încercarea comutației contactoarelor în regim capacitiv:

I_{K1} ... I_{K3} — contactoare de încercat; C_1 — bateria de condensatoare; DC — dispozitiv electronic de comandă; R_d — rezistența de descărcare.

Parametrii încercării:

$$I_e = I_{\text{nominal termic}};$$

$$U = 1{,}2\ U_n.$$

Numărul de manevre 100.000.

Rezultatele se consideră satisfăcătoare, dacă în cursul manevrelor:

— nu se produc supratensiuni periculoase;

— contactele nu prezintă uzuri exagerate.

14.11. Încercarea contactoarelor în condiții de exploatare

Comportarea contactoarelor în exploatare depinde de următorii factori:

a. Cunoașterea perfectă a condițiilor tehnice a instalației în care se introduc contactoarele.

b. Cunoașterea caracteristicilor tehnice ale contactorului înscrise în instrucțiunile de exploatare și respectarea condițiilor de instalare prescrise.

c. Alegerea corectă a contactoarelor în funcție de solicitările din instalații.

d. Verificarea profilactică și pe parcursul exploatării atît a contactelor, cît și a celorlalte elemente din circuit.

Defecțiunile care apar în cursul exploatării depind de comportarea aparatelor, dar în mare măsură și de variația în timp a condițiilor de funcționare a celorlalte elemente din instalații.

Numeroase încercări privind fiabilitatea contactoarelor, cît și constatări făcute în instalații avariate, au dus la concluzia că principalii factori perturbatori care duc la o uzură prematură a contactoarelor din instalații sînt:

— funcționarea defectuoasă a electromagneților, ca urmare a unor variații mari a tensiunii de alimetare a bobinei de comandă;

— întreruperi totale de foarte scurtă durată, dar relativ frecvente ale tensiunii de alimentare a bobinei.

Aceste fenomene au ca efect scăderea forței portante a electromagnetului pe perioade foarte scurte, dar repetate. În primul caz intervin frecvente tendințe de desprindere a contactelor însoțite de vibrații și încălzirea lor excesivă, în al doilea caz vibrațiile sînt însoțite de scînteiere, care în cele mai multe cazuri produc suduri temporare ale contactelor, desprinderi ale acestora și în final lipirea definitivă.

Căderile de tensiune în circuit sînt efectul însumării căderilor de tensiune ale unor legături necorespunzătoare la borne, a unor presiuni insuficiente pe contacte etc.

Cauza întreruperilor temporare în alimentarea circuitelor de comandă trebuie căutată în contactele imperfecte ale aparatelor, care se găsesc în serie cu bobina de comandă. În circuitele de comandă, de automatizare, se găsesc deseori relee, termostate, programatoare etc. prevăzute cu contacte mici, cu distanțe mici între contacte. Oxidarea acestora, acoperirea cu praf, fac ca

acestea să-şi piardă continuitatea, operaţia de comutaţie devine instabilă, provocînd acele întreruperi de ordinul milisecundelor, suficiente însă pentru a provoca un dezechilibru în comportarea contactelor contactoarelor.

Din cele expuse rezultă necesitatea organizării următoarelor verificări:

a. Verificări periodice ale tensiunii de alimentare a bobinelor electromagneţilor cu ajutorul unui voltmetru înregistrator, pentru a se vedea domeniul de variaţie a tensiunii în timp.

b. Inspectarea stării contactelor principale şi auxiliare, verificarea simultaneităţii închiderilor.

c. Verificarea menţinerii presiunii pe contact.

15. Întreruptoare automate

15.1. Nomenclatura probelor

Întreruptoarele automate de joasă tensiune de tip compact în carcasă de masă plastică, pentru curenţi pînă la 800 A şi universale pentru curenţi pînă la 4000 A, se încearcă după reglementarile prezentate în tabelul 15.1 impuse de STAS 4480-74 şi recomandările CEI 157-1 din 1973.

La fabrica constructoare întreruptoarele se supun la încercările individuale şi de lot specificate la punctele 1 ... 5,7 din tabel, dintre acestea verificarea etalonării declanşatoarelor reprezentînd încercarea cea mai complexă ce necesită standuri de probă automatizate.

Probele de tip cuprind tot nomenclatorul de încercări, completat cu verificări şi studii de cercetare cu privire mai ales la comportarea aparatelor la verificările de comutaţie, capacitate de închidere şi rupere, uzură electrică şi cu privire la eficacitatea dispozitivelor de protecţie.

În cadrul probelor de punere în funcţiune şi profilactice se verifică funcţionarea mecanică, se adaptează declanşatoarele la condiţiile de utilizare, se verifică funcţionarea dispozitivelor de acţionare (punctele 1, 2, 3, 5, 7).

15.2. Condiţii generale de încercare a întreruptoarelor automate

Prescripţiile CEI 157-1 din 1973 prevăd ca fiecare încercare în cadrul probelor de tip să fie executată pe aparate noi.

Înainte de începerea încercărilor de tip, toate aparatele sînt supuse unei atente examinări tehnice în cadrul căreia se verifică corespondenţa produsului cu documentaţia de proiectare. Un ansamblu de verificări este destinat verificării materialelor utilizate şi acoperirilor de protecţie conform standardelor. Al doilea ansamblu de verificări se referă la măsurarea cursei şi dis-

Tabelul 15.1

Încercările întreruptoarelor automate
(normalizate sau în curs de normalizare)

Nr. crt.	Denumirea încercării	Tipul încercării						Observații
		I	L	T	PF	P	S	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Verificarea funcționării mecanice	×	×	×	×	×	—	STAS 4480-74 553-73
2	Verificarea căderilor de tensiune	×	—	×	—	×	—	STAS 553-73
3	Verificarea condițiilor de funcționare a declanșatoarelor	×	×	×	×	—	×	STAS 4480-74 CEI 157-1
4	Verificarea etalonării declanșatoarelor	×	×	×	—	—	×	STAS 4480-74 CEI 157-1 CEI 292-1
5	Verificarea funcționării dispozitivelor de acționare	×	×	×	×	×	—	STAS 4480-74
6	Verificarea încălzirii	—	—	×	—	—	×	STAS 4480-74 CEI 157-73 VDE 0661/-68
7	Verificarea comportării la umiditate	—	—	×	—	—	—	STAS 4480-74 STAS 553-73
8	Verificarea rezistenței de izolație și a tensiunii de ținere la frecvență industrială în stare rece și uscată	×	×	×	×	—	—	STAS 4480-74 STAS 553-73 CEI 157-1
9	Idem în stare caldă și umedă	—	—	×	—	—	—	Idem
10	Verificarea rezistenței la uzură mecanică și electrică	—	—	×	—	—	×	STAS 4480-74 STAS 553-73 CEI 157-1 VDE 0660-1-68
11	Verificarea comportării la suprasarcină	—	—	×	—	—	—	Idem
12	Verificarea capacității de închidere și rupere	—	—	×	—	—	×	Idem
13	Verificarea comportării la curent limită termic	—	—	×	—	—	×	Idem
14	Verificarea comportării la vibrații	—	—	×	—	—	×	STAS 4480-74 STAS 553-73 CEI 157-1
15	Verificarea gradului de protecție	—	—	×	—	—	—	STAS 6588-62

tanței între contacte și a forței de apăsare pe contacte și un al treilea grup de verificări, are în vedere măsurarea distanțelor de străpungere și conturnare, verificarea dimensiunilor bornelor și a posibilității de racordare a conductoarelor la borne.

15.3. Verificarea funcționării mecanice a declanșatoarelor de deschidere și a declanșatoarelor de tensiune minimă

Corecta funcționare mecanică a declanșatoarelor condiționează buna comportare a întreruptorului la încercările ulterioare. În legătură cu aceasta, este necesar să se cunoască cîteva particularități ale verificărilor ce trebuie executate atît la fabrica constructoare, cît și în cadrul probelor de punere în funcțiune în exploatare.

Închiderea contactelor întreruptorului se face în mod normal printr-un efort mecanic, care odată cu stabilirea contactului între piesele polare armează și un sistem de arcuri. Datorită înclichetării mecanice arcurile se mențin armate și după încetarea efectului mecanic.

Separarea contactelor și întreruperea circuitului se produce prin destinderea sistemului de arcuri, provocată de declanșatoarele ce acționează sub influența variației nefavorabile a parametrilor din circuit, provocînd declichetarea. Se simulează cazurile de avarie alimentînd bobina declanșatorului de deschidere sau întrerupînd alimentarea bobinei declanșatorului de tensiune minimă.

În ambele cazuri trebuie să se producă declanșarea întreruptorului, conform fig. 15.1.

Declanșatorul de deschidere reprezentînd din punct de vedere constructiv un electromagnet, mișcarea echipajului mobil trebuie să se producă la alimentarea bobinei cu 70% din tensiunea nominală. Se închide întreruptorul automat și se reglează tensiunea declanșatorului de deschidere la 0,7 U_n. Se verifică dacă închiderea declanșatorului provoacă întotdeauna deschiderea întreruptorului. Se repetă proba de cîteva ori.

Verificarea funcționării declanșatorului de tensiune minimă se face coborînd tensiunea de alimentare a bobinei pînă cînd se produce declanșarea întreruptorului. Se verifică dacă această tensiune este cuprinsă între 35% ... 70% din valoarea tensiunii de alimentare.

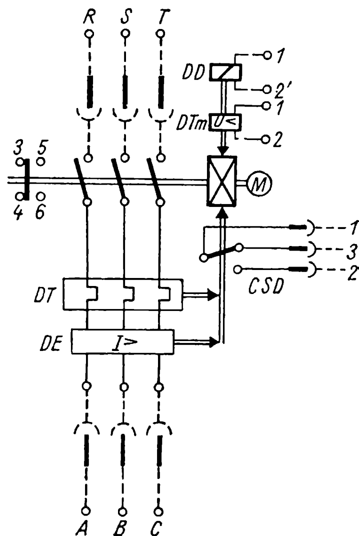


Fig. 15.1. Schema electrică a întreruptorului automat:

DD — declanșator deschidere; *DTm* — declanșator tensiune minimă.

La întreruptoarele acționate manual se verifică prin operații simple, respectiv închideri-deschideri consecutive ale aparatului, comportarea cîtorva repere stabilite tehnologic,

ca de exemplu închiderea sigură şi rapidă înainte ca pîrghia de manevră să ajungă la capătul cursei, ocuparea poziţiei corecte a manetei la deschiderea întreruptorului.

Întreruptoarele acţionate cu servomotor, electromagnet sau electroventil necesită verificări laborioase, încercarea dispozitivelor de acţionare efectuîndu-se după un nomenclator corespunzător prescripţiilor standardelor respective de produs ce nu fac obiectul acestei lucrări.

La aparatele debroşabile se verifică funcţionarea dispozitivului de siguranţă împotriva extragerii accidentale care trebuie să provoace deschiderea contactelor înainte de extragerea completă, atunci cînd aparatul fiind în poziţia anclanşat, este deplasat din suportul fix.

15.4. Verificarea încălzirii întreruptoarelor

Metodele de încercare a aparatelor la încălzire au fost descrise în cap. 4. Pentru întreruptoarele automate se pot face anumite precizări privind condiţiile de încercare în funcţie de curentul nominal al aparatului, conform recomandărilor CEI 157.

● În cazul curentului de încercare $I \geqslant 400$ A legăturile se realizează cu conductoare de cupru izolate în PVC.

Întreruptoarele multipolare se încearcă în circuitele monofazate cu toţi polii legaţi în serie, cu condiţia ca erorile provenite din influenţele magnetice, să fie neglijabile. Legăturile se fac în aer liber şi se distanţează la o depărtare egală cel puţin cu distanţa între faze.

● În cazul curenţilor de încercare din domeniul 400 ... 1600 A legăturile se fac cu bare de cupru vopsite cu culoare neagră mată.

Întreruptoarele multipolare se încearcă trecînd simultan prin toţi polii curentul de utilizare. Legăturile se fac în aer liber, depărtate între ele la o distanţă egală cu cea dintre borne.

● În cazul curenţilor de încercare $I \geqslant 1600$ A, încercarea se face la parametrii conveniţi între producător şi utilizator cu privire la sursa de alimentare, numărul de faze, frecvenţa, secţiunea conductoarelor.

● În toate cazurile, domeniul de frecvenţă, pentru circuitele de curent aternativ, este cuprins între 45 şi 62 Hz. Pentru simplificarea circuitelor de încercare, întreruptoarele de curent continuu pot fi încercate în curent alternativ, solicitarea fiind acoperitoare. Secţiunile conductoarelor sau bornelor şi lungimea lor din bornă în bornă sînt reglementate de standardele în vigoare (de ex. STAS 4480-74).

Încălzirea circuitelor de comandă. Dispozitivele de comandă se încearcă sub tensiunea lor nominală.

Condiţiile de încercare ţin seama de faptul că dispozitivele de comandă se diferenţiază prin modul de funcţionare care poate fi continuă sau accidentală.

Dispozitivele prevăzute pentru funcţionare continuă (declanşator tensiune minimă) se încearcă în regim de 8 h.

Dispozitivele prevăzute să funcţioneze numai în timpul manevrelor de închidere şi deschidere, cum sînt dispozitivele de deschidere automată a circuitului, se alimentează de 10 ori succesiv, intervalul dintre două încercări

nefiind mai mare ca 10 s. Durata fiecărei puneri sub tensiune trebuie să fie de o secundă. După răcirea completă circuitul se mai alimentează o dată timp de 10 s.

Sub solicitarea termică provocată de aceste încercări supratemperatura diverselor părţi ale circuitului de comandă nu trebuie să depăşească temperatura admisibilă.

15.5. Încercarea capacităţii de închidere şi rupere

Încercarea are ca scop să verifice că întreruptoarele automate de joasă tensiune pot întrerupe curenţii de scurtcircuit (valoarea efectivă a componentei aperiodice, în cazul curentului alternativ) care definesc capacitatea nominală de rupere a aparatului.

Capacitatea nominală de închidere a întreruptorului se exprimă prin valoarea maximală de vîrf a curentului prezumat.

Raportul dintre valoarea minimă a capacităţii nominale de închidere la scurtcircuit şi capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit este standardizat. În tabelul 15.2 se prezintă valorile recomandate de CEI 157-1 din 1973.

Valoarea factorului n rezultă din procesul tranzitoriu ce are loc la conectarea unui circuit cu rezistenţă şi inductivitate la o sursă de curent alternativ [141].

Pregătirea aparatului pentru probe. Pentru a se asigura o deplină obiectivitate tehnică în aprecierea capacităţii aparatului de a întrerupe în bune condiţii curenţii de scurtcircuit, respectiv pentru aprecierea comportării corespunzătoare a dispozitivului de stingere, se verifică, înainte de încercare, funcţionarea releelor maximale de curent, simultaneitatea închiderii contactelor. Se măsoară presiunea pe contacte, vibraţia la închiderea contactelor care nu trebuie să depăşească 4 ms şi timpii de închidere şi deschidere a contactelor şi întreruptorului în ansamblu.

Tabelul 15.2

Raportul n dintre valoarea minimă a capacităţii nominale de închidere la scurtcircuit şi capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit, conform CEI 157-1 din 1973

Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit I_{rn}	Factorul de putere nominal $\cos \varphi_n$	Valoarea minimă a capacităţii nominale de închidere la scurtcircuit $n \times I_{rn}$
$I_{rn} \leqslant 1500$	0,95	$1,41 \times I_{rn}$
$1500 < I_{rn} \leqslant 3000$	0,9	$1,42 \times I_{rn}$
$3000 < I_{rn} \leqslant 4500$	0,8	$1,47 \times I_{rn}$
$4500 < I_{rn} \leqslant 6000$	0,7	$1,53 \times I_{ra}$
$6000 < I_{rn} \leqslant 10000$	0,5	$1,7 \times I_{rn}$
$10000 < I_{rn} \leqslant 20000$	0,3	$2,0 \times I_{rn}$
$20000 < I_{rn} \leqslant 50000$	0,25	$2,1 \times I_{rn}$
$50000 < I_{rn}$	0,2	$2,2 \times I_{rn}$

● Aparatul trebuie să fie echipat complet ca pentru exploatare. Dacă mecanismul de anclanşare este comandat electric sau pneumatic, dispozitivele respective se alimentează la tensiunea sau presiunea minimă, respectiv la 85% din valorile nominale.

● Dacă întreruptorul este prevăzut cu anclanşarea manuală independentă de viteza şi forţa operatorului, încercarea de închidere se face cu diverse viteze de acţionare pentru a verifica că anclanşarea pe scurtciruit se desfăşoară satisfăcător pentru toată gama de viteze.

● Dacă întreruptorul este prevăzut cu anclanşarea manuală dependentă de viteza şi forţa de acţionare a operatorului, verificarea capacităţii de închidere se face la forţa şi viteza de acţionare impuse.

● Pentru întreruptoarele echipate cu declanşatoare maximale de curent al căror timp de deschidere depinde de reglajul releelor, încercarea se execută în două situaţii limită, cu declanşatorul reglat pentru curentul maxim şi temporizarea maximă (ceea ce corespunde unei componente aperiodice minime); cu declanşatorul reglat pentru curentul minim şi temporizare minimă (ceea ce corespunde unei componente aperiodice maxime).

● În caz că întreruptorul nu este echipat cu declanşatoare maximale de curent, ci cu un alt tip de declanşator, ca de exemplu un declanşator şunt, declanşatorul trebuie să fie alimentat cu tensiunea minimă de funcţionare aplicată la apariţia curentului de scurtcircuit sau cel mai tîrziu după 10 ms de la declanşarea scurtcircuitului.

În cursul încercării aparatele trebuie să fie înconjurate de ecrane metalice legate la masa aparatului şi izolate faţă de pămînt. Amplasarea paravanelor faţă de aparat este stabilită de producător.

Înainte de aplicarea curentului de scurtcircuit se execută cîteva acţionări în gol şi anume: comenzile de închidere comandate electric, verificîndu-se că funcţionarea este corectă la 85% şi 100% din tensiunea de alimentare şi comportarea declanşatoarelor de deschidere conform subcap. 15.3.

Programul încercărilor la capacitatea de închidere şi rupere. Întreruptoarele automate de joasă tensiune se încearcă la capacitatea de comutaţie după una din secvenţele corespunzătoare claselor de performanţe specificate în tabelul 15.3. Pauza dintre două manevre este egală cu 3 min sau cu durata de rearmare a întreruptorului.

Condiţiile de încercare ale întreruptoarelor automate fabricate în R.S.R. sînt impuse de STAS 4480-74 şi prezentate în tabelul 15.4 pentru o tensiune de restabilire de 110% U_n.

Sursa de alimentare se aplică la bornele marcate de producător ca fiind borne de reţea. Dacă bornele nu sînt marcate se face alimentarea pe partea care implică condiţiile cele mai severe. Dacă nu se poate determina gradul de severitate, încercarea se face succesiv cu sursa de alimentare aplicată la fiecare din capetele bornelor.

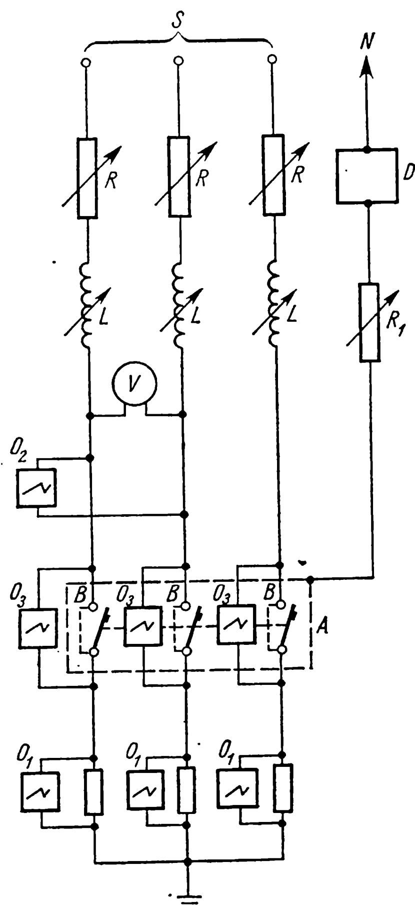
Circuitul de încercare. În fig. 15.2 este indicată schema electrică a circuitelor de încercare.

Tabelul 15.3

Categoriile de performanțe la scurtcircuit recomandate de prescripțiile CEI 157-1 din 1973

Categoria de performanță la scurtcircuit	Secvența nominală la manevre pentru încercarea la scurtcircuit	Starea aparatului după încercare la scurtcircuit
P-1	D—t—ID	Trebuie să fie capabilă a asigura un serviciu redus
P-2	D—t—ID—t—ID	Trebuie să fie capabilă a asigura un serviciu normal

Notă: *D* — reprezintă o manevră de rupere; *ID* — reprezintă o manevră de închidere urmată imediat de o manevră de rupere; *t* — pauza dintre două manevre.



Tabelul 15.4

Capacitatea nominală de rupere la scurtcircuit a întreruptoarelor automate conform STAS 4480-74

I_t A	Capacitatea de rupere kA	cos φ
$I_t \leqslant 25$	1,5	0,7
$25 < I_t \leqslant 40$	2	0,7
$40 < I_t \leqslant 63$	3	0,7
$63 < I_t \leqslant 100$	5	0,7
$100 < I_t \leqslant 160$	8	0,5
$160 < I_t \leqslant 250$	10	0,5
$250 < I_t \leqslant 500$	15	0,3
$500 < I_t \leqslant 630$	20	0,3
$I_t > 630$	25...50	0,25
$I_t > 630$	>50	0,2

Fig. 15.2. Schema circuitului de încercare pentru verificarea capacității de închidere și rupere la scurtcircuit:

S — sursa; *R* și *L* — rezistența și inductanțele reglabile; *A* — întreruptorul automat de încercat; *B* — conexiuni proivizorii pentru etalonare: O_1 — oscilograf pentru înregistrarea curentului; O_2 și O_3 — oscilografe pentru înregistrarea tensiunii; *D* — dispozitiv de detectare a circuitului defect; R_1 — rezistență de limitare; *N* — punctul neutru al sursei.

Circuitul se compune din sursa de alimentare, care trebuie să aibă o putere acoperitoare pentru parametrii de încercare, aparatul de încercat, circuitul de sarcină și circuitul de măsură.

În laboratorul de mare putere de rupere pentru aparataj de joasă tensiune al întreprinderii Electroaparataj, sursa de alimentare este formată din două transformatoare de mare putere, ce se pot lega în paralel, conectate la rețeaua de 10 kV.

Circuitul de sarcină se compune din inductanțe fără fier și rezistențe, ambele reglabile, și este amplasat în amonte de aparat.

Factorul de amplitudine al tensiunii de restabilire, rezultat din condițiile circuitului de încercare, este mai mare decît cel care se produce în condițiile normale de exploatare. Pentru a-l ameliora, în paralel cu inductanța se montează o rezistență calculată astfel încît să fie parcursă de 0,6% din curentul care traversează inductanța.

În cazul cînd încercarea se face la un curent de scurtcircuit inferior capacității nominale de închidere și rupere, sarcina suplimentară se montează în aval de aparatul de încercat.

Circuitul trebuie să fie racordat la centura de pămînt sau la punctul neutru al sursei.

Toate părțile întreruptorului care în exploatare urmează a fi legate la centura de pămînt se izolează de pămînt și se leagă la punctul indicat în fig. 15.4. Legătura se face cu un fir de cupru lung de 50 mm și cu un diametru de 0,1 mm prin intermediul căruia urmează să se detecteze curenții de defect. Cu ajutorul unei rezistențe se limitează curentul prezumat de defect la 100A.

Circuitul de măsură este format din oscilograful O_1 pentru înregistrarea curentului, oscilograful O_2 pentru înregistrarea tensiunii între faze și oscilograful O_3 pentru înregistrarea tensiunii de arc.

Rezistența circuitului de măsură trebuie să fie cel puțin 20 Ω/V din tensiunea nominală de restabilire la frecvența industrială.

Factorul de putere și constanta de timp a circuitului se măsoară conform metodelor indicate la capitolele 7 și 8.

Metodele de etalonare a circuitelor sînt identice cu cele descrise în capitolele 7 și 8.

Circuitul de încercare se alimentează simultan pe toate fazele.

Pentru efectuarea încercării se desface conexiunea provizorie și se introduce aparatul de încercat. Se aplică programul de încercări prevăzut în tabelul 15.3 în funcție de categoria de performanță pentru care este garantat întreruptorul.

Pentru categoria P-1 întreruptorul trebuie să realizeze o întrerupere și o închidere urmată de o întrerupere.

Pentru categoria P-2 se efectuează o întrerupere și două închideri-deschideri, cu pauzele prescrise.

După stingerea arcului, tensiunea de restabilire trebuie să fie menținută pe o durată de cel puțin 0,1 s.

Interpretarea rezultatelor. Determinarea tensiunii aplicate și a tensiunii de restabilire de frecvență industrială se face folosind oscilogramele de etalonare și relațiile indicate la cap. 7.

Diferenţa dintre valoarea medie a tensiunilor de restabilire pe toate trei faze şi valoarea tensiunii de restabilire de frecvenţă industrială pe fiecare fază nu trebuie să depăşească 5% din valoarea medie.

Curentul prezumat întrerupt trebuie să fie media curenţilor prezumaţi din toate fazele şi diferenţa dintre media acestor curenţi şi valoarea curentului prezumat în oricare din faze, nu trebuie să depăşească 10% din valoarea medie.

Comportarea aparatului. În cursul încercărilor de închidere şi rupere starea aparatului se consideră satisfăcătoare dacă nu se produce arc permanent, amorsarea arcului între faze sau între faze şi masă sau arderea fuzibilului din circuitul de legare la neutrul sursei.

După terminarea programului de încercări, întreruptorul trebuie să poată suporta, fără întreţinere, următoarele încercări:

— să nu străpungă sub o tensiune de izolaţie egală cu 2 U_n;

— să închidă şi să întrerupă circuitul la curent nominal termic sub tensiunea nominală;

— părţile mecanice şi izolatoarele întreruptorului trebuie să se găsească în aceeaşi stare ca înaintea încercării;

— funcţionarea declanşatoarelor maximale de curent va fi verificată la un curent egal cu 2,5 curentul de reglaj.

Pentru a se stabili dacă întreruptoarele mai pot fi utilizate în serviciu normal, acestea sînt supuse suplimentar unor verificări, al căror grad de severitate depinde de categoria de utilizare a întreruptorului.

● Întreruptoarele avînd categoria de utilizare P-1, după efectuarea întregului ciclu de încercări la scurtcircuit, trebuie să suporte:

a) o încălzire la curentul nominal termic timp nelimitat, fără ca piesele de contact sau piesele izolante învecinate să se încălzească excesiv;

b) o verificare a funcţionării declanşatoarelor maximale de curent.

În cadrul ultimei verificări nu se admite ca timpul de declanşare corespunzător valorii curentului de 2,5 I_r să fie mai mare decît cel maxim prevăzut de constructor pentru 2 I_r (unde I_r reprezintă curentul de reglaj).

● Întreruptoarele, avînd categoria de utilizare P-2, vor fi de asemenea supuse încălzirii sub curentul nominal termic pe care trebuie să-l suporte fără să se producă deteriorarea pieselor izolante învecinate sau care servesc ca suport căilor de curent. La verificarea menţinerii reglajului declanşatoarelor de curent nu se admite nici o abatere a timpului de declanşare faţă de reglajul efectuat înaintea încercării la scurtcircuit. Durata de funcţionare a releului trebuie să se încadreze în limitele stabilite de constructor.

15.6. Încercarea la curent de scurtcircuit admisibil de scurtă durată (curent limită termic)

Curentul de scurtă durată admisibil nominal se stabileşte de producător şi reprezintă în curent alternativ, valoarea efectivă a componentei periodice a curentului prezumat de scurtcircuit. Durata menţinerii curentului este de o secundă. Dacă valoarea curentului de scurtă durată este inferioară curen-

tului ce corespunde capacității nominale de rupere la scurtcircuit, trebuie stabilită și durata pe care o poate suporta întreruptorul parcurs de acest curent. Stabilirea curentului de scurtă durată admisibil, cît și durata sa, se stabilesc de producător și se menționează în normele interne de produs.

Încercarea se execută numai la acele întreruptoare care echipate fiind în mod normal cu declanșatoare de curent maximal se utilizează și fără declanșatoare.

Proba se execută pe aparatul închis, tensiunea ce se aplică fiind cea necesară pentru obținerea curentului prescris.

Frecvența nominală a întreruptorului poate varia în limitele $\pm$ 25%.

Valoarea de vîrf a curentului în prima perioadă, trebuie să fie cel puțin valoarea capacității de rupere multiplicată cu factorul n conform tabelului 15.2.

În funcție de caracteristicile stației de încercare, pot fi admise următoarele variante ale metodei de încercare, cu condiția ca produsul $I_i^2 t_i$ să fie egal cu $I_n^2 t_n$:

a. Dacă încercarea se face cu un curent redus în comparație cu valoarea nominală, se poate prelungi durata de menținere sub curent, cu condiția ca valoarea de vîrf a curentului să fie cea prescrisă.

b. Dacă pentru obținerea valorii de vîrf prescrise a curentului trebuie făcută încercarea la un curent de scurtă durată mai mare decît valoarea nominală, se reduce corespunzător timpul de menținere sub curent.

I_i, t_i sînt curentul și respectiv timpul în cazul variației acestor valori. I_n, t_n sînt curentul de scurtă durată admisibil nominal, iar t_n — timpul prescris de o secundă.

După efectuarea încercării întreruptorul trebuie să poată suporta secvențele de încercări identice cu cele impuse după verificarea capacității de rupere.

15.7. Verificarea rezistenței la uzură mecanică și electrică

Înainte de efectuarea verificărilor de uzură mecanică și electrică, se procedează la verificarea funcționării mecanice a aparatelor în limitele prescrise pentru tensiunea sau presiunea de alimentare a dispozitivelor de comandă. Metodele de încercare sînt cele specificate în subcap. 15.3.

În cazul întreruptoarelor automate de joasă tensiune, parametrii de verificare ai uzurii mecanice și electrice sînt standardizați, așa cum se indică în tabelul 15.5, în funcție de condițiile stabilite de producător cu privire la normele de întreținere a aparatului în exploatare.

Executarea încercării. În cazul întreruptoarelor prevăzute cu dispozitive electrice sau pneumatice de anclanșare, acestea trebuie să fie alimentate cu tensiunea nominală de alimentare de comandă sau cu presiunea nominală. În cursul manevrelor, temperatura dispozitivelor de comandă nu trebuie să depășească temperatura admisibilă.

În cazul că întreruptoarele sînt acționate manual, acestea vor fi manevrate ca în condițiile normale de exploatare.

Cînd întreruptoarele sînt acționate cu servomotor, la uzura mecanică se va ține seama de condițiile tehnice garantate cu privire la frecvența de conectare admisibilă.

Tabelul 15.5

Parametri de verificare a uzurii mecanice şi electrice a întreruptoarelor automate

Curentul nominal termic	Numărul de manevre	Numărul de manevre				
		Toate întreruptoarele	Întreruptoare cu întreţinere		Întreruptoare fără întreţinere	
		Cicluri uzură electrică (fără întreţinere)	Cicluri uzură mecanică	Total cicluri uzură	Cicluri uzură mecanică	Total cicluri uzură
A	con/*h*	n	n'	$n+n'$	n''	$n+n''$
$I_t < 100$	240	4000	16 000	20 000	4000	8000
$100 < I_t \leqslant 315$	120	2000	18 000	20 000	6000	8000
$315 < I_t \leqslant 630$	60	1000	9000	10 000	4000	5000
$630 < I_t \leqslant 1250$	30	500	4500	5000	2500	3000
$1250 < I_t \leqslant 2500$	20	100	1900	2000	900	1000
$2500 < I_t$	10	Se stabileşte pe baza acordului între producător şi beneficiar				

Rezistenţa la uzură mecanică se efectuează fără curent în circuitul principal. Aparatele se montează ca în condiţii de exploatare.

Comanda încercărilor şi realizarea frecvenţei de conectare impuse se face prin intermediul unui programator mecanic, electronic sau cu mecanism de ceasornic.

În fig. 15.3 este prezentat circuitul de încercare în cazul cînd întreruptoarele sînt acţionate cu servomotor.

Pentru verificarea rezistenţei mecanice a declanşatoarelor, 10% din numărul de manevre se realizează prin declanşatoarele maximale de curent, iar 10% prin declanşatoarele de tensiune minimă.

În cazul că întreruptorul este prevăzut cu întreţinere curentă în serviciul normal, la fiecare 10% din numărul total de manevre sînt permise următoarele operaţii de întreţinere: curăţirea aparatului fără demontare, ungerea părţilor menţionate în instrucţiunile de exploatare, reglarea cursei şi forţei de apăsare pe contacte, dacă aceasta este prevăzută în instrucţiunile de exploatare.

Verificarea rezistenţei la uzura electrică se face în condiţiile indicate în tabelul 15.6, după terminarea încercărilor la uzură mecanică. Numărul de

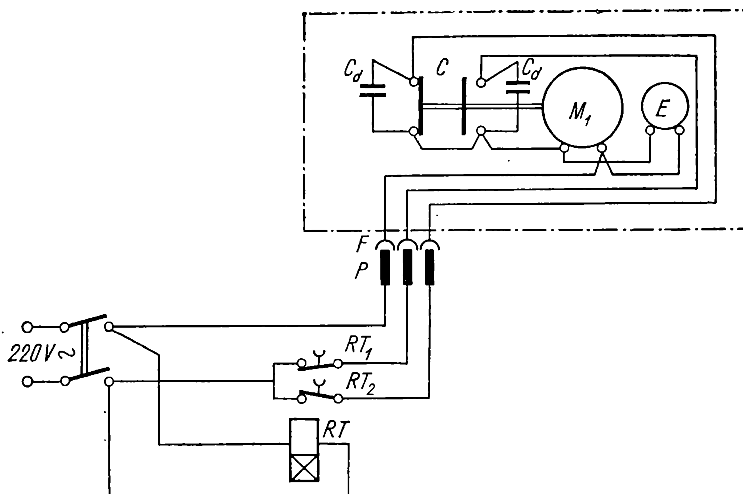


Fig. 15.3. Circuitul de încercare simultană la uzură mecanică a două întreruptoare acționate cu servomotor:

M_1 — motor de acționare; RT — releu de timp; E — frînă electromagnetică; C — comutator cu două poziții stabile; C_d — condensator de 10 μF, 400 V; P, F — priză și fișe cu 3 contacte.

Tabelul 15.6

Caracteristicile circuitelor pentru verificarea rezistenței la uzura sub sarcină a întreruptoarelor automate

Natura curentului	Tensiunea de încercare	Curentul de încercare	Factorul de putere cos φ	Constanta de timp L/R, ms
Alternativ	U_n	I_n	0,8 ± 0,1	—
Continuu	U_n	I_n	—	1...3

manevre este cel specificat în tabelul 15.5 și se referă la contactele de rupere. Timpul de menținere sub curent a aparatului este de maximum 2 s.

Deoarece atît închiderea cît și deschiderea aparatului se fac sub curentul și tensiunea nominală, schema electrică a circuitului nu prezintă probleme deosebite.

Verificarea întreruptorului după încercările la uzură mecanică și electrică. După verificarea rezistenței la uzura mecanică și electrică, întreruptoarele trebuie să suporte fără se se deterioreze o încercare de ținere a izolației sub o tensiune de izolație egală cu 2 U_n, de asemenea trebuie să suporte o încercare de stabilire și întrerupere a curentului nominal termic sub tensiunea nominală de utilizare.

Pentru întreruptoarele care se încadrează în categoria de utilizare P-1 trebuie să se verifice reglajul declanşatoarelor maximale de curent. La o valoare a curentului de reglaj mărită cu 10%, declanşatoarele trebuie să funcţioneze în timpul maxim de declanşare prescris.

Pentru întreruptoarele din categoria de utilizare P-2 trebuie să se verifice că se păstrează condiţiile iniţiale de etalonare a declanşatoarelor maximale de curent.

15.8. Verificarea comportării întreruptoarelor la suprasarcină

Montajul aparatelor şi circuitul de încercare sînt identice cu cele pentru verificarea capacităţii de rupere.

Condiţiile de încercare sînt specificate în tabelul 15.7.

Valorile parametrilor în timpul încercării *Tabelul 15.7*

Parametrul	Curent alternativ	Curent continuu
Curent	6 I_t	2,5 I_t
Tensiune	1,1 U_e	1,1 U_e
Factor de putere, cos φ	0,5 ± 0,05	
Constanta de timp L/R, ms	—	2,5 ± 15%
Frecvenţa, Hz	45 ... 62	

Notă. I_t este curentul nominal termic; U_e — este tensiunea de utilizare maximă.

Curentul prezumat de scurtcircuit al sursei trebuie să fie 50 kA sau de 10 ori valoarea curentului de încercare.

Numărul de manevre este 25 din care 20 se efectuează manual.

Timpul de menţinere a aparatului în poziţia închis este de maximum 2 s. Frecvenţa de conectare este aceeaşi cu cea folosită în cazul uzurii mecanice şi electrice. Caracteristicile circuitului de sarcină sînt identice cu cele descrise la proba de închidere şi rupere a curenţilor de scurtcircuit.

Încercările se consideră satisfăcătoare dacă după terminarea încercărilor piesele izolante nu prezintă deteriorări, contactele nu prezintă fenomene de uzură excesivă, iar diversele părţi mecanice nu prezintă deformări permanente.

Suplimentar aparatul trebuie să mai poată suporta verificările descrise mai sus pentru categoria de utilizare P-2.

15.9. Verificarea limitelor de funcţionare a întreruptoarelor automate de joasă tensiune

15.9.1. Funcţionarea întreruptorului la închidere

Condiţiile de funcţionare ale întreruptoarelor automate sînt legate de sistemul lor de acţionare.

Viteza sistemului de contacte, în procesul de anclanşare, poate fi dependentă sau independentă de puterea acumulată de dispozitivul de acţio-

nare. În funcție de aceasta, avem de a face cu dispozitive de acționare dependente sau independente.

Dispozitivele de acționare independente acumulează energia necesară pentru închiderea întreruptorului înainte de a se produce atingerea contactelor și pot asigura anclanșarea fermă total independent de comportarea dispozitivului de acționare, după ce s-a dat comanda de închidere.

Verificarea condițiilor de funcționare a dispozitivelor cu acționare manuală Parametrii, care se controlează în cazul acționării manuale, sînt viteza de acționare, forța de acționare și direcția sa de aplicare.

Se efectuează cîteva manevre de închidere-deschidere pentru a se verifica îndeplinirea următoarelor condiții:

— închiderea trebuie să se producă înainte ca pîrghia de manevră să ajungă la capătul cursei;

— echipajul mobil trebuie să execute întreaga cursă în contact.

Verificarea de funcționare a dispozitivelor de acționare comandate electric. Dispozitivele de acționare comandate electric, electromagneți, motoare, electroventile, trebuie să funcționeze sigur, chiar în condiții de închidere pe scurtcircuit, cînd tensiunea lor de alimentare este cuprinsă între 85% și 110% din tensiunea nominală de alimentare de comandă.

Verificarea de ansamblu se face înainte de începerea încercărilor prin aplirea succesivă a tensiunilor indicate mai sus, iar comportarea aparatului în condiții de închidere la scurtcircuit se verifică cu ocazia efectuării la capacitatea nominală de închidere și rupere.

Verificarea condițiilor de funcționare a dispozitivelor de acționare cu aer comprimat. Dispozitivele de acționare comandate cu aer comprimat trebuie să asigure închiderea întreruptorului în toate cazurile, de la funcționarea în gol pînă la închiderea la capacitatea nominală de închidere, pentru presiuni cuprinse între P_{max} și P_{min} din presiunea nominală de alimentare stabilită de producător.

La presiunea P_{max} aplicată la funcționarea în gol, trebuie să se verifice că nu se produc deteriorări ale aparatului.

La presiunea P_{min} trebuie să se asigure închiderea fermă la verificarea condițiilor de închidere la capacitatea nominală de închidere pe scurtcircuit.

15.9.2. Funcționarea întreruptorului la deschidere

Întreruptoarele cu deschidere automată trebuie să fie prevăzute cu mecanisme de declanșare liberă.

Energia necesară declanșării trebuie să fie acumulată în mecanism înainte de a se termina manevra de închidere.

Distingem următoarele sisteme de declanșare:

— declanșatoare de deschidere (declanșator șunt) la care elementul de reglaj este tensiunea;

— declanșatoare maximale de curent;

— declanșatoare de tensiune minimă.

15.9.3. Verificarea declanşatoarelor de deschidere

Declanşatorul de deschidere reprezintă din punct de vedere constructiv un electromagnet, al cărui echipaj mobil deplasîndu-se în momentul alimentării bobinei provoacă declanşarea mecanismului de deschidere al aparatului. Mişcarea echipajului mobil trebuie să se producă la alimentarea bobinei cu 70% din tensiunea nominală. Declanşatorul de deschidere trebuie să funcţioneze corect pentru orice tensiune cuprinsă între 70% şi 110% din tensiunea nominală de alimentare de comandă şi în orice condiţii de funcţionare inclusiv în cazul întreruperii curenţilor de scurtcircuit.

15.9.4. Verificarea declanşatoarelor maximale de curent la curenţi de scurtcircuit

Valoarea curentului de reglaj se stabileşte de producător. Funcţionarea declanşatorului se verifică pentru un domeniu cuprins între 80% şi 120% din curentul de reglaj.

Verificarea condiţiei de nedeclanşare. Se aplică un curent de 80% din curentul de reglaj, care trebuie menţinut:
200 ms — în cazul declanşatoarelor instantanee;
$2 \times t_i$ — în cazul declanşatoarelor cu temporizare independentă;
unde t_i este durata temporizării.

Declanşatorul nu trebuie să funcţioneze.

În cazul declanşatoarelor multipolare încercarea se face cu cîte două faze legate în serie.

Verificarea condiţiei de declanşare. Se aplică un curent de 120% din valoarea curentului de reglaj — pentru declanşatoare instantanee — sau 110% — pentru declanşatoare cu temporizare independentă.

Declanşarea trebuie să se producă:
în maximum 200 ms — în cazul declanşatoarelor instantanee;
în $2 \times t_i$ — în cazul declanşatoarelor cu temporizare independentă.

15.9.5. Verificarea declanşatoarelor la curenţi de suprasarcină

a. **Declanşatoare cu caracteristică instantanee sau cu temporizare independentă.** Domeniul de funcţionare al releelor de suprasarcină este cuprins între 90% şi 110% din curentul de reglaj la suprasarcină.

Condiţiile de nedeclanşare şi declanşare sînt aceleaşi ca în cazul curenţilor de scurtcircuit, cu deosebirea că încercarea întreruptoarelor multipolare se face alimentînd simultan toţi polii. Curentul de încercare nu trebuie să aibă componentă asimetrică

b. **Declanşatoare maximale de curent cu caracteristică de timp inversă.** Declanşatoarele cu caracteristică de timp inversă sînt din punct de vedere constructiv declanşatoarele termice.

Condițiile lor de funcționare sînt specificate în tabelul 15.8.

Alimentarea declanșatoarelor se face din stare rece a aparatelor.

Efectuarea reglajului în condiții de laborator se face într-un circuit a cărui schemă electrică este indicată în fig. 15.4.

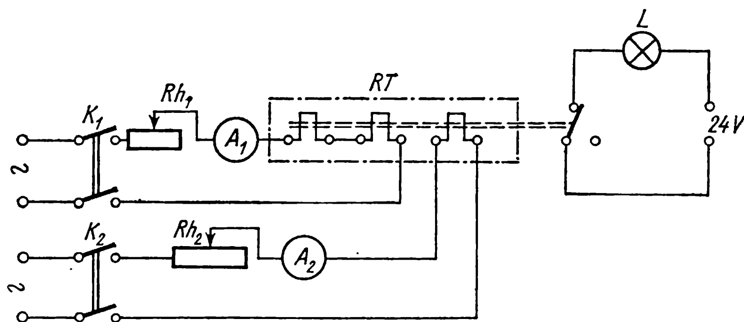


Fig. 15.4. Circuit pentru etalonarea declanșatoarelor maximale termice cu caracteristică de timp inversă:

K_1, K_2 — comutatoare bipolare; Rh_1, Rh_2 — reostate; RT — releu termic; L — lampă de semnalizare; A_1, A_2 — ampermetre.

În mod curent declanșatoarele se livrează cu două poziții de reglaj, o poziție maximă notată cu I_r și o poziție minimă, care reprezintă un submultiplu al curentului de reglaj, cuprins între (0,5 ... 0,8)I_r.

Tabelul 15.8

Caracteristica declanșatorului termic cînd este alimentat pe toate fazele

Declanșator	Valoarea curentului de reglaj I_r	A	B	T h	Temperatura de referință °C
Necompensat la temperatura mediului ambiant	$I_r \leqslant 63$ A	1,05	1,35	1	20 sau 40
	$I_r > 63$ A	1,05	1,25	2	
Compensat la temperatura mediului ambiant	$I_r \leqslant 63$ A	1,05	1,30	1	+20
		1,05	1,40	1	— 5
		1,00	1,30	1	+40
	$I_r > 63$ A	1,05	1,25	2	+20
		1,05	1,35	2	— 5
		1,00	1,25	2	+40

Notă. Dacă declanșatorul este alimentat numai pe două faze curentul maxim din coloana B trebuie mărit cu 10%

15.9.6. Etalonarea declanşatoarelor

Întreruptorul este montat ca în condiţii de exploatare. Se execută schema electrică a circuitului din fig. 15.4. Se alege pe eticheta indicatoare a poziţiei reglate, domeniul în care vor fi poziţionate indicatoarele. Se stabileşte o poziţie de minim corelată cu poziţia organului reglabil al declanşatorului în care efortul de declanşare să fie minim.

Se înregistrează temperatura mediului ambiant la care se execută încercarea, pentru a se aplica condiţiile de reglaj funcţie de temperatură, conform indicaţiilor din tabelul 15.8. Încercarea se execută aplicînd curentul de reglaj $I_{r\,min}$ multiplicat cu factorul A. Toate fazele sînt parcurse de curent conform schemei din fig. 15.4. Una din faze este alimentată dintr-o sursă separată pentru a se simula ulterior rămînerea în două faze. Sub curentul $A_{\times}I_{r\,min}$ nu trebuie să se producă declanşarea în timpul T. După consumarea acestei perioade de timp, mărirea curentului este ridicată la valoarea $B_{\times}I_{r\,min}$. In această situaţie declanşarea trebuie să se producă într-un interval de timp inferior celui indicat în coloana T.

Dacă aceste condiţii sînt îndeplinite înseamnă că poziţionarea este bună şi se marchează punctul de minim pe eticheta indicatoare de reglaj. Se repetă în acelaşi fel încercarea cu un curent $I_{r\,max}$ pentru poziţionarea punctului de maxim pe eticheta indicatoare de reglaj.

În cazul că declanşatorul nu îndeplineşte condiţiile impuse se reia reglajul schimbînd reperele fixate ale organului de reglaj.

După terminarea reglajului trifazat se reia reglajul pe poziţia minim şi maxim, pentru a se verifica comportarea declanşatorului la funcţionarea pe două faze, condiţiile fiind cele specificate în tabelul 15.8. În schema din fig. 15.4 se întrerupe circuitul alimentat cu comutatorul K_2. Se repetă seria de încercări, în aceleaşi condiţii de temperatură a mediului ambiant, pentru mai multe valori ale curenţilor de reglaj, în vederea trasării caracteristicii timp-curent.

15.9.7. Determinarea factorilor de corecţie pentru temperaturi diferite ale mediului ambiant

Se stabilesc iniţial condiţii de mediu ambiant pentru care se garantează funcţionarea la parametrii nominali.

Pentru a varia condiţiile de mediu, respectiv temperatura, se foloseşte o cameră climatică de tipul celei prezentate în fig. 15.5. Se stabilesc treptele de temperatură şi se determină pentru fiecare treaptă de temperatură curenţii pentru care sînt satisfăcute condiţiile impuse în tabelul 15.8.

Se calculează factorul de corecţie care reprezintă raportul dintre curentul de reglaj la temperatura mediului ambiant şi curenţii determinaţi pentru diverse valori ale temperaturii. În tabelul 15.9 se exemplifică modul de înregistrare a rezultatelor încercărilor pentru diferite temperaturi ale mediului ambiant, pentru declanşatoarele întreruptorului ISOL 250 însoţite de caracteristicile timp-curent, atît pentru curenţii de suprasarcină, cît şi pentru curenţii de scurtcircuit (fig. 15.6). Curentul de reglaj nominal este determinat pentru temperatura mediului ambiant de 45°C.

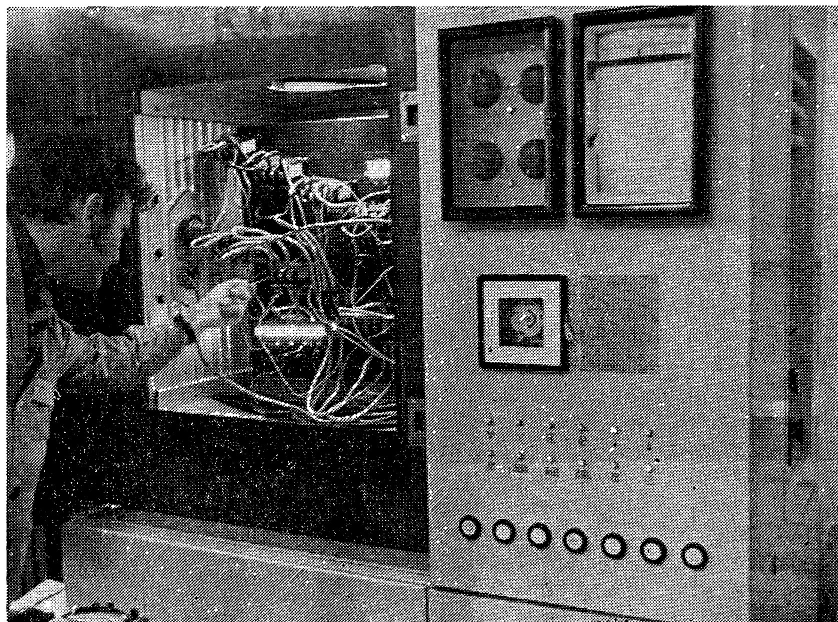


Fig. 15.5. Cameră climatică în care se verifică reglajul declanşatoarelor la temperaturi diferite de mediul ambiant.

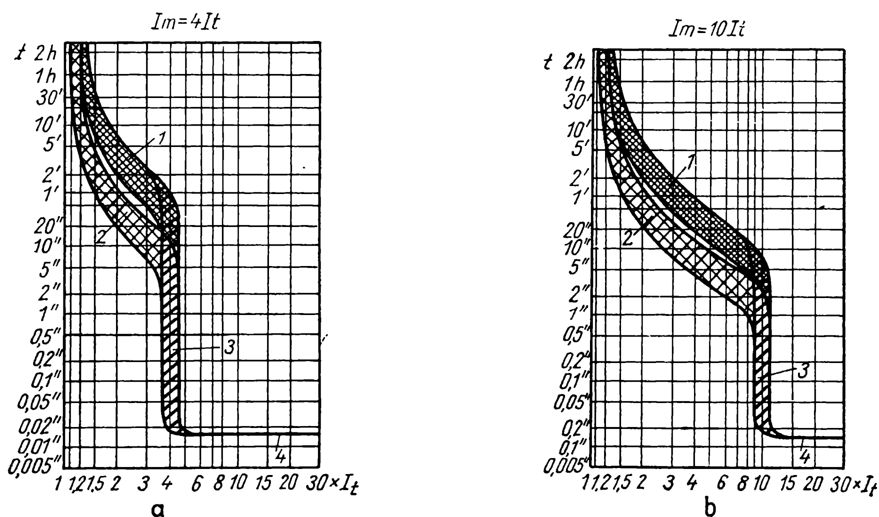


Fig. 15.6. Caracteristicile de declasare ale întreruptorului automat de 250 A tip ISOL: *a* — în cazul curenţilor de suprasarcină; *b* — de scurtcircuit; *1* — declanşator termic în stare rece; *2* — declanşator termic în stare caldă; *3* — declanşator electromagnetic; *4* — durata totală de declanşare.

Tabelul 15.9

Declanşator maximal cu caracteristica de timp inversă pentru întreruptorul de 250 A tip isol

Tipul releului	Variaţia domeniului de reglaj în funcţie de temperatura ambiantă I_r														Releu electromagnetic Declanşator maximal cu caracteristică instantanee	
	10°C		20°C		30°C		40°C		45°C		50°VC		60°C		I_m	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	A	A
R 100	110	140	100	125	90	115	85	105	80	100	75	95	70	90	1000	400
R 125	140	175	125	160	115	145	105	130	100	125	95	120	90	110	1250	500
R 160	175	215	160	200	145	185	130	170	125	160	120	155	110	145	1600	640
R 200	215	265	200	250	185	230	170	210	160	200	155	190	145	180	2000	800
R 250	265	315	250	300	230	280	210	260	200	250	190	240	180	225	2500	1000

15.10. Incercarea întreruptoarelor cu siguranțe incluse

În instalațiile în care capacitatea de protecție la scurtcircuit a întreruptoarelor automate este insuficientă, se utilizează întreruptoare cu siguranțe incluse.

În acest caz este necesar să se precizeze condițiile de coordonare a funcționării dispozitivelor de protecție a întreruptoarelor și siguranțelor, precum și încercările destinate a verifica realizarea unei coordonări corespunzătoare.

Caracteristicile tehnice impuse sînt următoarele:

a. *Cînd întreruptorul funcționează fără siguranță fuzibilă.* Întreruptorul trebuie să acționeze sigur, fără să provoace funcționarea siguranței, pentru un curent limită de suprasarcină, care să nu depășească o valoare impusă de producător.

b. *Pentru ansamblul întreruptor plus siguranță fuzibilă.* În cazul funcționării uneia sau mai multor siguranțe, întreruptorul trebuie să se deschidă pentru a se evita alimentarea defectuoasă pe una sau două faze.

Dacă întreruptorul este prevăzut cu anclanșare condiționată, anclanșarea trebuie să nu fie posibiliă atîta vreme cît nu sînt înlocuite elementele fuzibile sau siguranța completă.

c. *Ansamblul întreruptor plus siguranța fuzibilă* trebuie să aibă caracteristici tehnice diferite de întreruptorul luat separat. Siguranțele utilizate trebuie să fie alese astfel ca să fie capabile să suporte un curent de scurtcircuit prezumat mai mare decît al întreruptorului luat separat.

15.10.1 Verificarea curentului de intersecție

Condiția specificată la punctul a se verifică prin analizarea caracteristicilor de declanșare a siguranțelor și declanșatoarelor întreruptoarelor automate.

Dacă întreruptorul este prevăzut cu declanșatoare maximale de curent trebuie să se aibă în vedere durata totală de întrerupere pentru curentul de reglaj maxim.

Pentru siguranțe se va lua în considerare curentul de suprasarcină calculat după caracteristica de prearc.

Curentul de intersecție I_B (fig. 15.7) este definit prin următoarele atribute:

— este curentul corespunzător intersecției caracteristicilor de protecție ale întreruptoarelui și siguranței în punctul care reprezintă pentru siguranță durata totală de funcționare, iar pentru întreruptor durata minimă de declanșare;

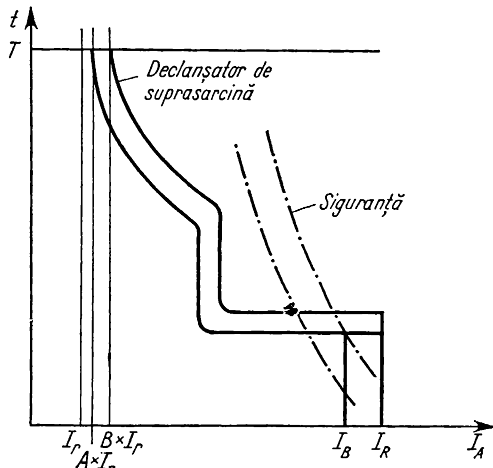


Fig. 15.7. Caracteristicile de protecție suprapuse ale întreruptorului și siguranței fuzibile: I_r — curentul nominal de reglaj; AI_r — curentul de suprasarcină de nedeclanșare; BI_r — curentul de suprasarcină de declanșare; I_B — capacitatea de rupere a întreruptorului împreună cu siguranța.

— reprezintă valoarea cea mai mică de curent pentru care se produce funcționarea siguranței înaintea întreruptorului;
— valoarea curentului I_B este inferioară capacității nominale de rupere a întreruptorului.

Suprapunerea caracteristicilor de protecție a aparatelor înseriate în același circuit principal nu este prea riguroasă, avînd în vedere impedanța diferită și nu întotdeauna neglijabilă a aparatelor încercate. De aceea, se recomandă compararea mărimilor I^2t pentru cele două aparate, cînd avem deaface cu valori importante ale curentului prezumat de scurtcircuit.

15.10.2. **Încercarea la capacitatea de închidere și rupere**

Încercarea se face în condițiile specificate la subcap. 15.5 cu următoarele precizări:

Sarcinile reglabile se montează: în amonte de întreruptorul cu siguranțe incluse, în cazul încercării la capacitatea nominală de închidere și rupere; în amonte sau în aval pentru sarcina suplimentară, cînd curentul de încercare este mai redus.

Curenții de încercare vor fi următorii:

a) I_A — capacitatea de rupere a întreruptorului cu siguranțe incluse;
b) I_R — capacitatea nominală de rupere a întreruptorului fără siguranțe.

Secvența ciclului de încercări este următoarea:

a) Se încearcă aparatul la capacitatea nominală de rupere I_A stabilită pentru ansamblul întreruptor-siguranță, ciclul de încercări fiind în funcție de categoria de utilizare.

După fiecare încercare se înlocuiesc elementele fuzibile, ceea ce condiționează și pauza dintre două încercări.

Încercarea se consideră satisfăcătoare dacă nu se produc fenomene negative ca: emisiuni de flamă în afara zonei de securitate stabilită de constructor, amorsarea arcului între faze sau între faze și masă, sudura contactelor.

După verificarea capacității de rupere, se fac încercări de natură să confirme capacitatea ansamblului întrerupător-siguranță de a îndeplini în continuare funcțiile sale în mod corespunzător. În acest scop se verifică din nou limitele de funcționare la deschidere a declanșatoarelor maximale de curent, conform metodologiei indicate la § 15.9.2.; se verifică aparatul la tensiunea de izolație de ținere egală cu 2 U_n, ambele verificări făcîndu-se cu același grad de severitate pentru cele două categorii de utilizare P-1 și P-2. Verificarea încălzirii se execută în funcție de categoria de utilizare și corespunde din punct de vedere al solicitării cu cele indicate la subcap. 15.5.

b) Se mai efectuează o probă de închidere și rupere (ciclul ID) la capacitatea nominală de închidere și rupere I_R a întreruptorului fără siguranțe. În cursul acestei încercări trebuie să se producă funcționarea cel puțin a unei siguranțe.

După fiecare încercare trebuie să se verifice că întreruptorul a declanșat și rămîne în poziția deschis.

16. Siguranțe fuzibile de joasă tensiune cu mare putere de rupere

Protecția prin siguranțe fuzibile prezintă avantajul uilizării unui dispozitiv simplu, ale cărui caracteristici de funcționare permit realizarea unei coordonări a protecției și a unei selectivități satisfăcătoare.

Condițiile de protecție pe care trebuie să le îndeplinească siguranțele se pot rezuma la următoarele:

— curba caracteristică de protecție timp-curent să fie cît mai fidelă caracteristicii termice a instalației protejate:

— să poată limita curenții de scurtcircuit;

— să întrerupă curenții de scurtcircuit într-un spațiu redus și fără producere de arc și explozii;

— să corespundă condițiilor de selectivitate.

În cadrul acestui capitol se vor trata încercările siguranțelor cu mare putere de rupere.

În sensul prescripțiilor CEI 269-1 din 1973 noțiunea de siguranțe de joasă tensiune cu mare putere de rupere are în vedere siguranțele avînd elementele de înlocuire incluse, cu putere de rupere de minim 50 kA, destinate a asigura protecția circuitelor de curent alternativ a căror tensiune nominală nu depășește 1000 V și de curent continuu a căror tensiune nominală nu depășește 1500 V.

16.1. Nomenclatura probelor

Încercările siguranțelor cu mare putere de rupere sînt reglementate de STAS 4173-72, ordinea încercărilor de tip, precum și numărul de aparate pe care se fac încercările sînt specificare în tabelul 16.1.

Nr. crt.	Denumirea încercării	Nr. de ordine al piesei pentru încercare									
		Soclu		Portfuzibil		Element înlocuitor					
		1	2	1	2	1–3	4–6	7–9	10–18	19–28	29–31
1	Verificarea de ansamblu	×	×	×	×	×					
2	Verificarea distanțelor de străpungere și conturnare	×	×	×	×						
3	Verificarea comportării la umiditate	×	×	×	×	×					
4	Verificarea rezistenței de izolație la umiditate	×	×	×	×						
5	Verificarea rigidității dielectrice în stare umedă	×	×	×	×						
6	Verificarea comportării la vibrații	×	×	×	×	×					
7	Verificarea comportării la încălzire	×	×			×					
8	Verificarea funcționării	×	×				×				
9	Verificarea puterii disipate	×	×			×					
10	Verificarea acoperirilor de protecție	×	×	×	×	×					
11	Verificarea comportării la curentul convențional de nefuziune	×				×					
12	Verificarea comportării la curentul convențional de fuziune	×						×			
13	Verificarea caracteristicilor timp-curent	×							×		
14	Verificarea funcționării dispozitivului indicator de declanșare					×					
15	Verificarea capacității de rupere									×	
16	Verificarea comportării la suprasarcină										×

Întrucît secvența încercărilor și metodele de încercare sînt asemănătoare cu cele tratate la cap. 10 — Siguranțe fuzibile de înaltă tensiune —, se vor trata pe scurt numai particularitățile siguranțelor de joasă tensiune.

Spre deosebire de alte aparate, la care, înainte de începerea probelor, se poate face o examinare tehnică pe subansamble pentru a verifica corespondența cu documentația, specificul constructiv al siguranței face imposibilă verificarea corespondenței cu documentația a elementelor fuzibile. Pentru a suplini aceasta, înainte de încercare se verifică rezistența fiecărui element înlocuitor. Aceasta este o probă individuală, care se execută atît la probele de tip, cît și la probele de lot. Constructorul stabilește domeniul în care trebuie să se încadreze valoarea rezistenței măsurate. Aceasta trebuie să fie media a cinci citiri efectuate după introducerea și retragerea, la fiecare măsurare, a elementului înlocuitor din soclu.

Determinarea rezistenței siguranței în ansamblul se face în condiții de laborator prin metoda ampermetrului și voltmetrului, circuitul fiind alimentat în curent continuu. În condițiile de fabricație și exploatare măsurarea rezistenței se face cu o punte dublă. VDE 0660 recomandă executarea încercării pe un model indicat în fig. 16.1.

Rezistența elementului înlocuitor se determină, la probele de tip, în limitele care garantează funcționarea sigură la probele de fuziune. Tempera-

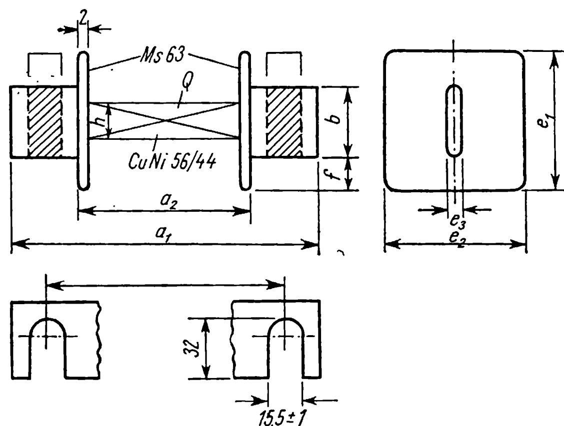


Fig. 16.1. Model indicînd punctele în care se măsoară rezistența siguranței (conform VDE 0660/4).

tura mediului ambiant trebuie să fie de 20 ± 5°C; în procesul măsurării rezistenței trebuie să se evite încălzirea excesivă a siguranței.

La probele individuale trebuie să se verifice că rezistența măsurată corespunde domeniului stabilit la probele de tip.

Probele prevăzute în tabelul 16.1 pct. 1 ... 7 se efectuează utilizînd metodele de încercare prevăzute în STAS 553 descrise la capitolele 2 ... 4.

16.2. Încercarea izolației

Pentru verificarea izolației, siguranțele trebuie să fie montate în poziția verticală, iar soclurile să fie echipate cu elementele înlocuitoare avînd curentul nominal cel mai ridicat al seriei.

În cazul că soclul reprezintă partea izolantă a siguranței, acesta se va monta pe o placă metalică. Toate părțile metalice de fixare ale siguranței vor fi legate în scurt și toate împreună la unul din elementele de fixare pe placa metalică a soclului care se consideră masa aparatului.

Dacă se prevede ca elementele de înlocuire să poată fi manevrate sub tensiune, suprafețele ce pot fi atinse în timpul manevrării se consideră că fac parte din masa aparatului. În consecință, dacă aceste suprafețe sînt executate din materiale izolante se vor acoperi cu staniol și se vor lega la masa aparatului.

Dacă siguranțele sînt prevăzute cu alte piese izolante, ca de exemplu paravane de separare, acestea trebuie să fie montate pe aparat în cursul încercărilor.

Tensiunea de încercare prescrisă trebuie să fie aplicată succesiv timp de un minut în următoarele puncte, pe aparatele aflate în starea uscată, la temperatura mediului ambiant:

a) între părțile active și masa aparatului, elementele înlocuitoare și mînerele fiind montate ca în exploatare;

b) între bornele de intrare și ieșire, cu elementele de înlocuire și mînerele demontate; în cazul soclurilor multipolare proba se execută pe fiecare fază în parte;

c) pentru soclurile multipolare, cu elementele de înlocuire și mînerele montate, se prevede executarea încercării și între părțile active de polaritați diferite;

d) tensiunea de încercare se aplică între părțile active, care după fuziunea elementelor înlocuitoare se pot găsi la potențiale diferite.

La probele de tip, tensiunea de încercare se aplică prin creștere lentă și se menține timp de 1 min. La probele de lot, se aplică brusc tensiunea de încercare și se menține 1 s.

Rezultatul probei se consideră satisfăcător, dacă nu s-au produs străpungeri sau conturnări.

După terminarea încercării în starea uscată, soclul este supus unei probe de umiditate de 48 h, în următoarele condiții: umiditate 91 ... 95%, temperatura mediului ambiant 20 ... 30°C.

Proba se execută în camera climatică. După acest tratament, aparatul fiind în camera climatică, se şterg eventualele picături de condens și se măsoară rezistența de izolaţie aplicînd o tensiune de 500 V c.c conform punctelor a ... d expuse anterior.

Proba se consideră satisfăcătoare dacă rezistența de izolație nu depăşeşte valoarea prescrisă.

16.3. Determinarea puterii disipate

Încercarea se face numai în cadrul probelor de tip şi are ca scop să determine limitele de încălzire în care se poate situa siguranţa în condiţiile unei utilizări normale şi la suprasarcini.

Măsurarea puterii se face în stare caldă a siguranţei, la curent alternativ, cu o frecvenţă de 45 ... 62 Hz, prin intermediul unui watmetru. Determinarea puterii disipate se poate face şi prin măsurarea căderii de tensiune, circuitul fiind alimentat în curent continuu.

În acest caz căderea de tensiune se măsoară între punctele extreme ale săgeţii din fig. 16.1.

Măsurarea se execută în ultimul sfert de oră al încercării la încălzire. Rezultatul se consideră satisfăcător, dacă puterile măsurate ale elementelor de înlocuire nu depăşesc valorile puterii disipate nominale prescrise de STAS 4173-72 pentru elementele înlocuitoare rapide şi lente.

După terminarea încercărilor de încălzire şi putere disipată, siguranţa trebuie să fie în perfectă stare de funcţionare.

Părţile izolante ale soclului trebuie să mai poată suporta tensiunea de încercare a izolaţiei, fără să se producă defecţiuni de natură să împiedice funcţionarea normală a siguranţei.

16.4. Verificarea funcţionării

Verificarea funcţionării siguranţei comportă următoarele încercări, care se execută numai în cadrul probelor de tip:

— încercarea la curenţii convenţionali de nefuziune şi fuziune;
— verificarea domeniului de fuziune şi a caracteristicilor timp-curent;
— verificarea comportării indicatoarelor de fuziune şi a percutoarelor;
— verificarea comportării siguranţelor la suprasarcină.

Încercarea comportării la curenţii convenţionali de nefuziune şi fuziune. Încercarea se face din stare rece, la temperatura mediului ambiant de 20°C ± 5°C.

Montajul se face la fel ca pentru proba de încălzire în circuit monopolar. Proba se execută în două circuite paralele. Un element de înlocuire este parcurs de curentul convenţional de nefuziune, un alt element de înlocuire de curentul convenţional de fuziune.

Valorile prescrise pentru curenţii de fuziune şi nefuziune, precum şi pentru timpul convenţional sînt standardizate şi înscrise în STAS 4173-72.

Verificările se execută sub tensiunea redusă. Încercarea se consideră corespunzătoare, dacă elementul de înlocuire nu se topeşte în timpul convenţional prescris la curentul convenţional de nefuziune I_{nf} şi se topeşte, în acelaşi timp convenţional, la curentul de fuziune I_f.

Verificarea domeniului de fuziune şi a caracteristicii timp-curent. Încercarea se face după o metodologie similară cu cea prezentată în subcap. 10.4.

Modul de prezentare a caracteristicii timp-curent cu menționarea timpului de prearc și timpului total de întrerupere este indicat în fig. 16.2.

Verificarea funcționării indicatoarelor de declanșare. Capacitatea indicatoarelor de a semnaliza întreruperea elementului fuzibil se verifică urmărind comportarea acestora în următoarele condiții:

Curent — 2,0 I_f pentru elementele de înlocuire de uz general;
$2k_1I_n$ pentru elementele de înlocuire de însoțire.

Tensiunea de restabilire — 100 V cînd $U_n = 500$ V;
0,20 U_n cînd $U_n > 500$ V.

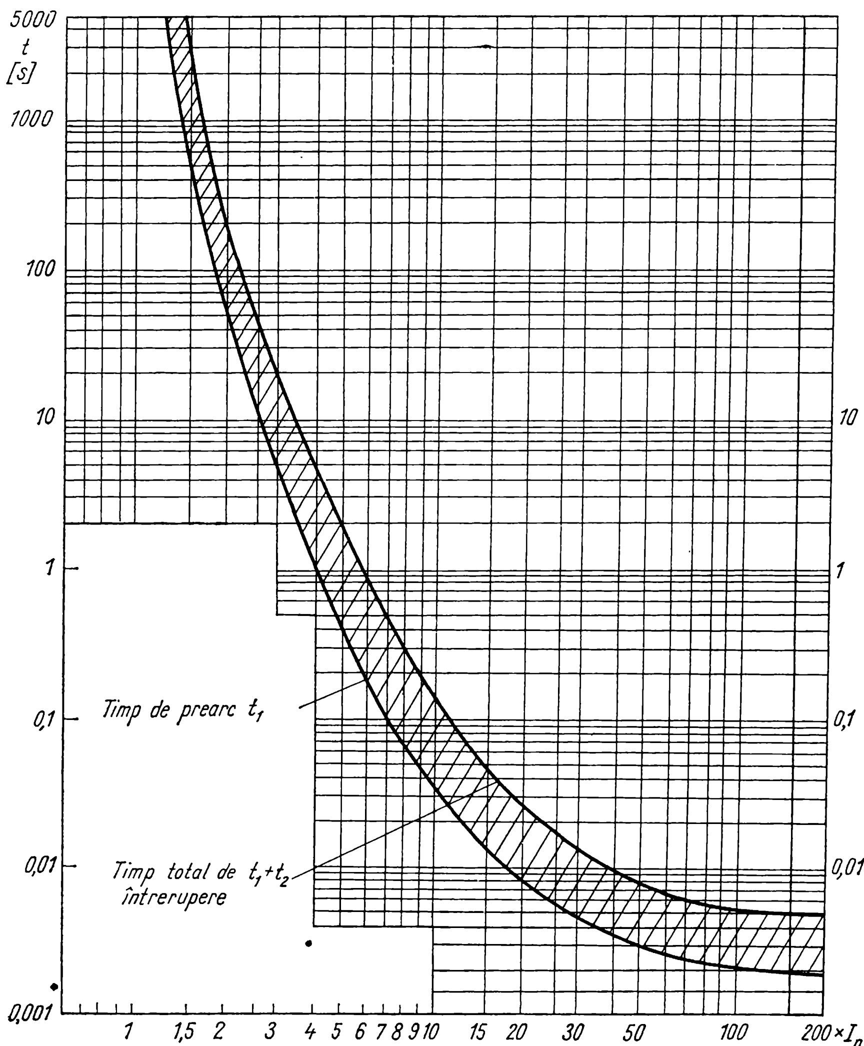


Fig. 16.2. Zona de fuziune a siguranței.

Valorile tensiunii de restabilire pot fi depășite cu 10%.

Indicatorul se consideră corespunzător dacă în cursul încercărilor acesta funcționează cînd tensiunea de restabilire este cel puțin 100 V.

Verificarea comportării siguranței la suprasarcină. Încercarea se face pe trei aparate, care sînt supuse la 50 impulsuri de aceeași durată sub un

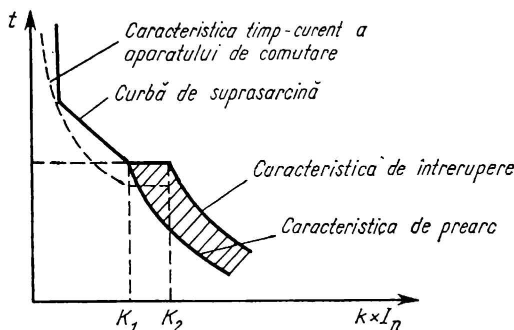


Fig. 16.3. Caracteristica timp-curent pentru elementele de însoțire Am pentru motoare.

curent de încercare prescris. Valoarea curentului recomandată de CEI 269-1 este egală cu 0,8 din valoarea curentului corespunzătoare unei durate de prearc de 5 s pe caracteristica timp-curent.

Durata fiecărui impuls va fi de 5 s, iar intervalul de timp dintre impulsuri va fi de 20% din timpul convențional impus pentru verificarea fuziunii siguranței.

Pentru elementele înlocuitoare de însoțire, curentul de încercare trebuie să corespundă unei valori egale cu $k_1 I_n$, conform caracteristicii timp-curent din fig. 16.3. Durata impulsului trebuie să corespundă timpului de pe curba de suprasarcină furnizată de producător.

Intervalul de timp dintre impulsuri trebuie să fie egal cu de 30 ori durata impulsului.

După efectuarea încercării, siguranțele sînt lăsate să se răcească pînă la temperatura mediului ambiant, după care fiind parcurse de curenții de suprasarcină cu care s-au făcut încercările pentru determinarea caracteristicilor timp-curent, elementele fuzibile trebuie să se topească în timpii cuprinși în zona de fuziune.

Pentru siguranțele de fabricație românească, acești parametri sînt prescriși de STAS 4173-72 pentru siguranțe lente și rapide.

16.5. Verificarea capacității de rupere a siguranțelor

Verificarea capacității de rupere se efectuează numai în cadrul încercărilor de tip și are ca scop să verifice capacitatea siguranței de a întrerupe, fără să se deterioreze și fără a produce efecte optice, acustice, termice și mecanice periculoase pentru mediul înconjurător, curenții cuprinși între curentul

convențional de fuziune și curentul prezumat corespunzător capacității nominale de rupere.

Metodele de încercare sînt indicate la cap. 7 și sub cap. 10.3. Se fac următoarele precizări privind particularitățile acestor probe pentru siguranțele de joasă tensiune:

Componentele circuitului sînt prezentate în schema de încercare din fig. 16.4.

Circuitul este protejat cu întreruptorul D și acționat cu contactorul sincron C, care asigură închiderea circuitului în condițiile cuprinse în lista parametrilor de încercare ce se prezintă în tabelul 16.2.

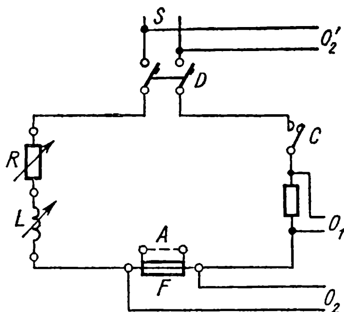


Fig. 16.4. Circuitul de încercare la puterea de rupere a siguranțelor.

Tabelul 16.2

		Numărul încercării 1	2	3	4	5
Tensiunea de restabilire la frecvență industrială		$1{,}1\ U_n \begin{smallmatrix}+5\%\\-0\%\end{smallmatrix}$				
Curentul prezumat al încercării	Element de înlocuire de uz general	I_1	I_2	$I_3 = 3{,}2 I_f$	$I_4 = 2{,}0 I_f$	$I_5 = 1{,}25 I_f$
	Element de înlocuire de însoțire			$I_3 = 2{,}5 k_2 I_n$	$I_4 = 1{,}6 k_2 I_n$	$I_5 = k_2 I_n$
Abaterea admisă a curentului		+10% −0%		±20%	+20% − 0%	
Factor de putere		0,2 ... 0,3 pentru curenți prezumați $I_1 \leqslant 20$kA 0,1 ... 0,2 pentru curenți prezumați $I_1 > 20$kA	Aceeași valoare ca la încercarea nr.1	0,3 ... 0,5		
Unghiul de anclanșare după trecerea prin zero a tensiunii		—	$0 \begin{smallmatrix}+20°\\-0°\end{smallmatrix}$	oarecare		
Amorsarea arcului după trecerea prin zero a tensiunii		Pentru o încercare 40° ... 60° Pentru două încercări 65° ... 90°	—	—		

I_1 — curentul care definește capacitatea de rupere garantată de producător.

I_2 — valoare a curentului, pentru care energia de arc este considerată maximă. Practic această valoare corespunde unui multiplu de 3 ... 4 a curentului corespunzător duratei de prearc egală cu 0,01 s din caracteristica timp-curent.

I_f — curentul convențional de fuziune (vezi tabelul 4.5).

I_3, I_4, I_5 — valori de curent pentru verificarea capacității siguranței de a suporta toată gama de curenți pînă la curentul de fuziune.

k_2 — vezi fig. 16.3.

În diagrama prezentată în fig. 16.5 se explicitează fazele încercărilor la curenții I_1 și I_2 din tabelul 16.2.

Se observă că energia maximă de arc s-ar obține dacă întreruperea curentului s-ar produce la o valoare efectivă a curentului $0,6\sqrt{2} < I_{ef} \leqslant 0,75\sqrt{2}$.

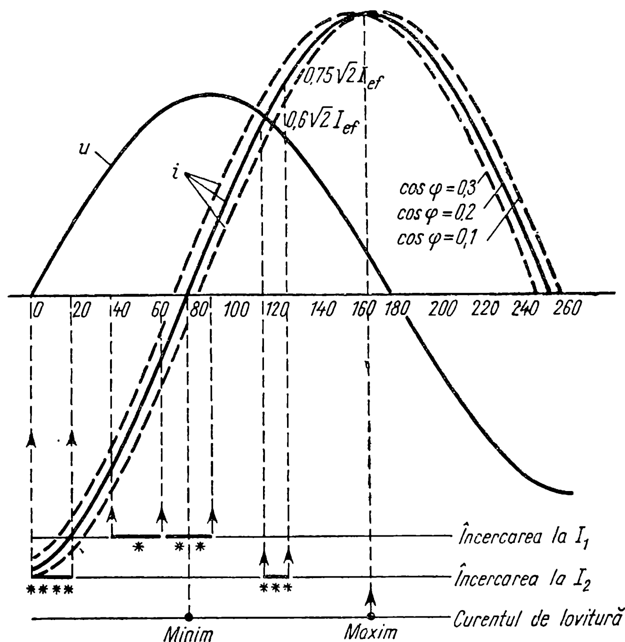


Fig. 16.5. Diagrama curenților și tensiunile corespunzătoare condițiilor de încercare la capacitatea de rupere conform tabelului 16.2:
* — moment de apariție a arcului pentru o încercare;
** — moment de apariție a arcului pentru două încercări;
*** — moment de apariție a arcului pentru cos φ = 0,2;
**** — moment de închidere.

Tensiunea de întrerupere, după funcționarea elementului de înlocuire, nu trebuie să depășească, conform CEI 269-1 din 1973, valorile cuprinse în tabelul 16.3.

Tabelul 16.3

Tensiunea nominală a elementului de înlocuire V		Tensiunea de întrerupere (Valoarea de vîrf), V
Curent alternativ și continuu	⩽ 60	1000
	61 ... 300	2000
	301 ... 660	2500
	661 ... 800	3000
	801 ... 1000	3500
Curent continuu în exclusivitate	1001 ... 1200	3500
	1201 ... 1500	5000

Pentru una din cele trei încercări, nr. 2 şi încercarea nr. 4, tensiunea de restabilire trebuie să fie menţinută la valoarea de $100 \pm^{15}_{0}$ % din tensiunea nominală în c.a: timp de 30 s după funcţionarea elementului fuzibil pentru elemente de înlocuire care nu conţin materiale organice; timp de 5 min după funcţionarea elementului fuzibil pentru toate celelalte elemente de înlocuire.

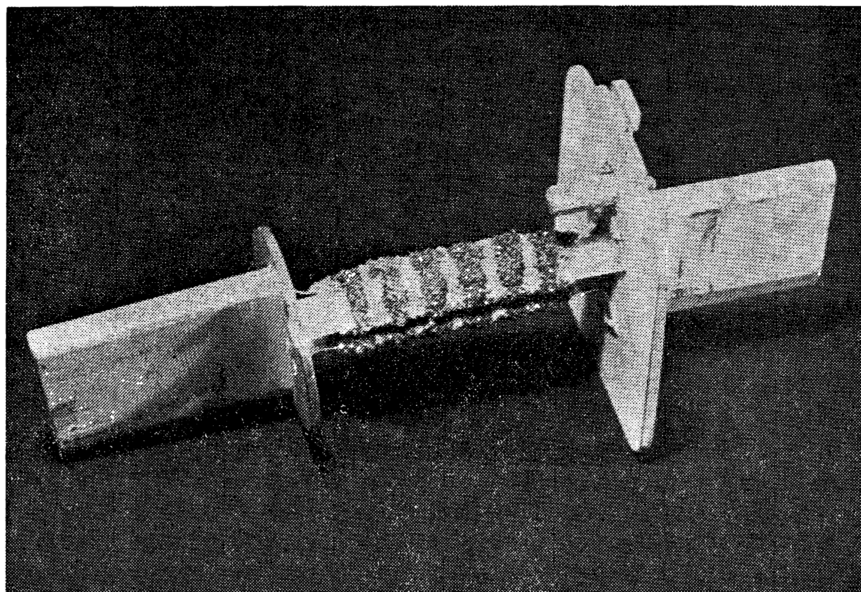


Fig. 16.6. Aspectul fuzibilului după o întrerupere corectă.

În acest ultim caz se permite comutarea pe o altă sursă de alimentare după 15 s, dacă durata de comutare se poate realiza în 0,1 s. Pentru toate celelalte încercări tensiunea de restabilire trebuie menţinută constantă timp de 15 s după declanşarea siguranţei.

În următoarele trei minute, care urmează încercării de rupere, se măsoară rezistenţa între contactele elementului de înlocuire.

Rezistenţa de izolaţie, măsurată după fiecare încercare cu un megohmmetru la 500 V c.c, trebuie să fie cel puţin egală cu:

50 000 — dacă tensiunea elementului de înlocuire nu depăşeşte 250 V;
100 000 — în toate celelalte cazuri.

Rezultatele încercărilor de rupere se consideră satisfăcătoare cînd în timpul şi după terminarea încercărilor, siguranţele îndeplinesc condiţiile menţionate în subcap. 10.3.

În fig. 16.6 se prezintă aspectul elementului fuzibil după întreruperea corectă a unui curent de scurtcircuit de 16 kA. (Siguranţă de 160 A de fabricaţie românească).

16.6. Verificarea caracteristicii amplitudinii curentului tăiat

Unele firme producătoare de siguranțe prezintă în cataloage caracteristica curentului tăiat (limitat). Aceasta trebuie să indice valorile maxime de curent la scurtciruit presupuse a se produce în circuitele în care sînt utilizate siguranțele.

Pentru condiții determinate de funcționare, aceste caracteristici indică curentul limitat prin intermediul siguranței în funcție de curentul prezumat întrerupt.

Verificarea caracteristicii se face prin stabilirea curentului prezumat I_1, în condițiile prevăzute în tabelul 16.2 la încercarea nr. 1. Valorile curenților prezumați întrerupți se deduc din oscilograme și trebuie să fie inferioare sau egale celor indicate în caracteristica garantată de producător.

Exemple de prezentare și utilizare a caracteristicilor amplitudinii curentului tăiat (limitat). Forma cea mai uzuală de reprezentare a caracteristicii unei serii de siguranțe avînd același tip constructiv este indicată în prescripțiile CEI 269-1 și exemplificată în fig. 16.7.

Pe diagrama avînd ambele scări logaritmice sînt trasate:

— în abscisă, valorile efective calculate ale curenților de scurtcircuit prezumat, în kA;

— în ordonată, valorile de vîrf ale curentului, în kA;

— dreapta înclinată la 45° indică valorile de vîrf ale curenților de scurtcircuit ce se pot atinge în caz de asimetrie maximă, cînd circuitul nu este protejat cu siguranțe;

— dreptele înclinate cu un unghi mai mic de 45°, cîte una pentru fiecare curent nominal, indică, pentru orice curent prezumat, valoarea de vîrf a curentului limită de scurtcircuit I_s la care se produce întreruperea prin siguranță.

Unele firme prezintă în locul dreptei înclinate la 45°, care corespunde asimetriei maxime, pe cele ce reprezintă o asimetrie medie, considerată cea mai probabilă în rețelele de curent alternativ.

Utilizarea caracteristicilor amplitudinii curentului tăiat (limitat) se face în felul următor: (exemplificarea se face pe curbele din fig. 16.7).

Presupunînd că avem o siguranță de 100 A se constată următoarele:

— pentru curenții de scurtcircuit pînă la 4 kA (punctul x pe figură) fuzibilul de 100 A nu limitează valoarea de vîrf a curentului de scurtcircuit. Valoarea maximă a curentului de scurtcircuit ce străbate instalația poate varia între $2I_{sc}$ (scurtcircuit simetric) și $2\sqrt{2}I_{sc}$ (asimetrie maximă), valoarea ce se stabilește efectiv fiind funcție de momentul apariției scurtcircuitului și de factorul de putere.

Să presupunem că în instalația protejată cu o siguranță de 100 A a intervenit un scurtcircuit cu o intensitate de 74 kA valoare efectivă. Dacă

circuitul nu ar fi protejat, valoarea de vîrf a curentului de scurtcircuit poate fi de 105 kA în cazul unui scurtcircuit simetric (punctul *B*) sau 210 kA în cazul unui scurtcircuit asimetric (punctul *A*). Circuitul fiind protejat de siguranță, curentul va fi limitat la 17 kA (punctul *C*).

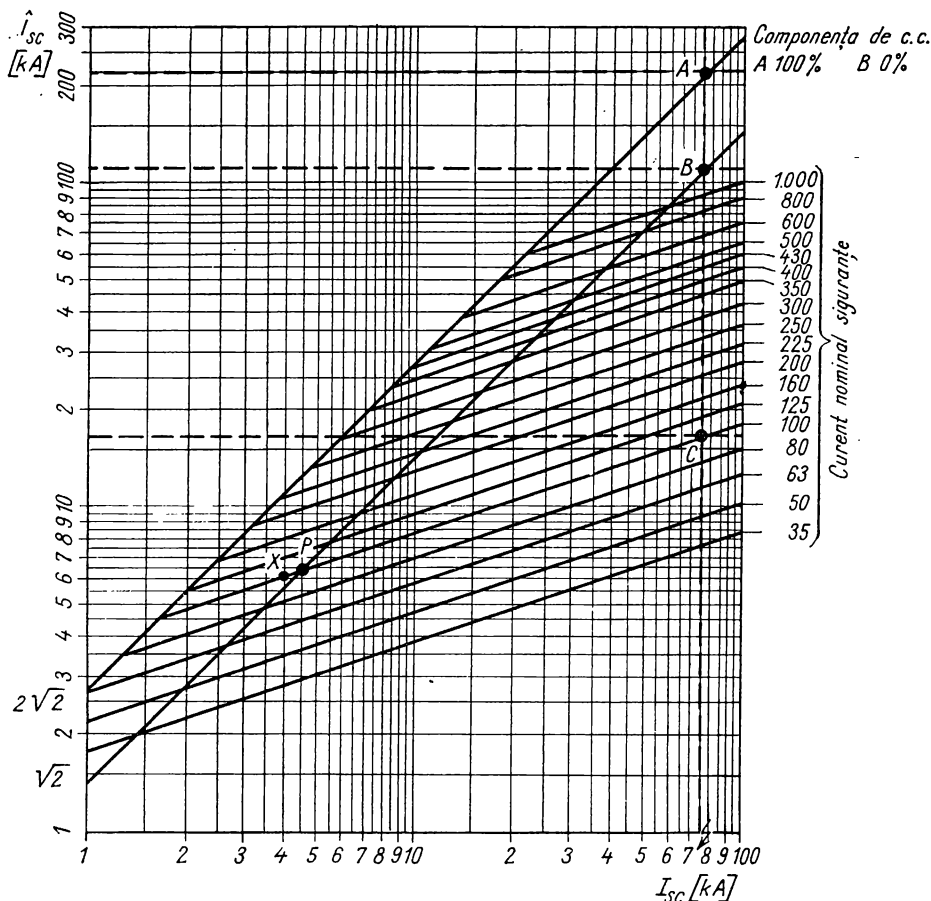


Fig. 16.7. Caracteristica amplitudinii curentului tăiat (limită).

Efectul de limitare a curentului începe să se manifeste pentru siguranța de 100 A de la valoarea de scurtcircuit a curentului de 4,5 kA (punctul *P*). Pentru curenții mai mari de 4,5 kA, valoarea de vîrf a curentului de întrerupere pentru siguranța de 100 A va fi dată de dreapta *PC*, în funcție de curentul de scurtcircuit ce apare în instalație.

Alegerea siguranței și respectiv a uneia din curbele de limitare corespunzătoare fiecărei siguranțe, a cărui curent nominal este notat în dreapta figurii, este funcție de dimensionarea instalației.

16.7. Verificarea caracteristicii I^2t

Caracteristica I^2t, care poate fi reprezentată atît pentru perioada de prearc, cît şi pentru perioada de fuziune, exprimă dependenţa constantei Joule în funcţie de curentul prezumat, în condiţii de funcţionare determinate.

În cazul că este cunoscută această caracteristică, valorile pentru I^2t trebuie să reprezinte solicitările maxime ce pot interveni, în serviciu, în funcţie de curentul prezumat.

Dacă în loc de caracteristica timp-curent de prearc se indică caracteristica I^2t de prearc, aceasta trebuie să reprezinte valorile cele mai mici ce se pot prezenta în regim de serviciu.

Verificarea caracteristicii se face prin intermediul măsurărilor ce se fac în cadrul probei de rupere, în condiţiile respectării parametrilor de încercare indicaţi în tabelul 16.2.

17. Contactoare cu relee (demaroare)

17.1. Nomenclatura probelor

Aşa cum prevăd prescripţiile CEI 292-1 din 1969, demaroarele directe de uz industrial sînt destinate să comande pornirea motorului, să suporte regimul tranzitoriu pînă la atingerea vitezei normale de rotaţie, să protejeze motorul la suprasarcină în cursul funcţionării şi să provoace voit oprirea sa.

Demaroarele directe nu sînt destinate a asigura protecţia la scurtcircuit. În acest scop circuitului demarorului i se poate asocia un element de protecţie la scurtciruit.

Din punct de vedere constructiv, demaroarele pot fi contactoare cu relee termice sau întreruptoare automate cu relee de suprasarcină şi scurtcircuit.

Un releu de suprasarcină este denumit de:

tipul 1 — cînd curentul de reglaj este curentul nominal al motorului;

tipul 2 — cînd curentul de reglaj este curentul de declanşare limită.

Curentul sau domeniul de reglaj se marchează vizibil.

Releele de suprasarcină, care funcţionează prin intermediul unui transformator de curent, trebuie să aibă marcat curentul în primar sau curentul releului de suprasarcină. În ambele cazuri se indică şi raportul de transformare.

Considerînd că întreruptorul sau contactorul, care satisfac partea de conectare mecanică a demarorului, sînt încercate şi satisfac condiţiile analizate în capitolele 14 şi 15, li se mai fac în plus următoarele încercări de tip:

— verificarea încălzirii;
— verificarea calităţilor dielectrice;
— verificarea capacităţii de închidere şi rupere;
— verificarea limitelor de funcţionare;

— verificarea limitelor de funcționare și a caracteristicilor releelor de suprasarcină;
— verificarea uzurii mecanice și electrice;
— verificarea gradului de protecție.

Condițiile tehnice și metodele de încercare ale demaroarelor sînt reglementate de următoarele standarde și norme interne:

STAS 553-72
NID 2465-74 Contactoare TCA cu relee termice;
NID 2275-75 Bloc relee termice TSA-TSAw;
NID 3583-73 Întreruptoare capsulate tip ISOL.

În cele ce urmează vor fi tratate numai acele încercări care nu au fost descrise în capitolele anterioare sau particularitățile acestor încercări pentru demaroare.

17.1.1. Verificarea încălzirii

Verificarea încălzirii se face cu metodele descrise în capitolele precedente cu următoarele precizări:

Circuitul principal. Demarorul trebuie să fie echipat cu releul de suprasarcină corespunzător curentului nominal termic și curentului de plină sarcină a motorului. Dacă demarorul este echipat cu relee reglabile, va fi alimentat cu un curent corespunzător releului cu cel mai mare curent din serie.

Pentru demarorul conținînd un contactor, bobina de comandă va fi alimentată cu tensiunea nominală de comandă, dacă demarorul este acționat pneumatic va fi acționat cu presiunea nominală.

Încercarea se face sub curentul nominal termic în serviciu de 8 h.

Înfășurările electromagneților de acționare. Cînd circuitul principal este parcurs de curent, bobinele de comandă a electromagneților sau electroventilelor trebuie să suporte, la frecvența nominală, tensiunea nominală în serviciu continuu, fără ca încălzirea lor să depășească limitele admisibile.

În absența curentului în circuitul principal, înfășurările bobinelor demarorului vor fi încercate în serviciu intermitent, în aceleași condiții de frecvență și tensiune ca mai sus, conform claselor de serviciu stabilite de constructor.

La stabilizare, temperatura bobinei nu trebuie să depășească limitele prescrise în funcție de stabilitatea termică a izolației.

17.1.2. Verificarea capacității nominale de închidere și rupere

Încercările la capacitatea de închidere și rupere se fac separat.

Pregătirea aparatului pentru încercare. Demarorul prevăzut a funcționa într-o carcasă va fi încercat în carcasa proprie. El va fi echipat cu un releu de suprasarcină avînd curentul de reglaj corespunzător curentului maxim de utilizare al demarorului la categoria de utilizare considerată.

Pentru verificarea capacității nominale de închidere releul poate fi șuntat. Conductoarele de racordare vor avea secțiunile normale utilizate în exploatare.

Circuitul de încercare și schema electrică vor fi identice cu cele din cap. 14 sau 15.

Verificarea capacității de închidere. Curentul de închidere va fi, după caz, cel corespunzător claselor de utilizare AC 3 sau AC 4.

Numărul de manevre ce urmează a fi efectuat va fi în felul următor:

a) Pentru demaroarele prevăzute cu contactor — 100 de manevre — din care:

50 cu bobina alimentată la 85% din tensiunea nominală de comandă;
50 cu bobina alimentată la 110% din tensiunea de comandă.

b) Pentru demaroarele acționate manual numărul de manevre va fi 20.

Intervalul dintre două manevre va fi de 5 ... 10 s.

Durata de parcurgere a curentului va fi minimum 50 ms, pentru a depăși eventual timpul de vibrație a contactelor.

Verificarea capacității de rupere. Curentul de încercare este cel prevăzut pentru categoriile de utilizare AC 3 sau AC 4.

Numărul de manevre — 25. Cinci din aceste manevre trebuie să fie efectuate prin releele de suprasarcină.

Pentru demaroarele al căror curent depășește 630 A se vor efectua numai 3 manevre cu releul de suprasarcină. Intervalul de timp dintre 2 manevre va fi timpul necesar pentru rearmarea releelor.

Restul manevrelor, pînă la 25, se va efectua cu releele șuntate. Durata de parcurgere a curentului nu trebuie să fie mai mare de 0,5 s, pe ciclu de manevra.

Intervalul dintre două manevre va fi 5 ... 10 s.

17.1.3. Verificarea limitelor de funcționare a contactoarelor

Verificarea se face fără curent în circuitul principal al aparatului de conectare.

Se verifică închiderea și deschiderea fermă a demarorului în limitele de tensiune și temperatură specificate mai jos, cînd circuitele bobinelor sînt închise sau deschise brusc.

Închiderea demaroarelor electromagnetice sau electropneumatice trebuie să fie asigurată pentru orice tensiune cuprinsă între 85% și 110% din tensiunea de alimentare de comandă U_s, pentru o temperatură a mediului ambiant cuprinsă între — 5°C și + 40°C. Aceste limite se aplică atît în c.c. cît și în c.a.

Tensiunea de deschidere trebuie să fie cuprinsă între 75% și 10% din tensiunea U_s.

Valorile tensiunii de închidere și deschidere se verifică în starea caldă a aparatului, în regim stabilizat, după aplicarea tensiunii de alimentare de comandă pe timp îndelungat.

Pentru demaroarele pneumatice, limitele de variație a presiunii de alimentare sînt de 85% și 110% din presiunea nominală.

17.1.4. Verificarea limitelor de funcționare a releelor de suprasarcină

Declanșarea prin relee termice de suprasarcină cu sarcini echilibrate pe toate fazele. *Releul de suprasarcină de tipul* 1 (curentul de reglaj este curentul de plină sarcină a motorului protejat).

Releul încercat împreună cu contactorul complet montat în carcasă, în limitele prescrise ale mediului ambiant, trebuie să satisfacă următoarele condiții: cînd releul este parcurs de curentul de reglaj multiplicat cu factorul A, specificat în tabelul 17.1, declanșarea nu trebuie să se producă în mai puțin de două ore, pornind din starea rece; cînd valoarea curentului de reglaj este multiplicată cu factorul B, delanșarea trebuie să se producă în mai puțin de două ore, din momentul aplicării curentului.

Releul de suprasarcină de tipul 2 (curentul de reglaj este curentul de declanșarea limită).

În condițiile specificate mai sus, la aplicarea unui curent de reglaj multiplicat cu factorul C, declanșarea nu trebuie să se producă în mai puțin de 2 h, pornind din starea rece; la aplicarea unui curent de reglaj multiplicat cu factorul D, declanșarea trebuie să se producă în mai puțin de două ore din momentul aplicării curentului.

Valorile factorilor A, B, C, D, precum și condițiile ce trebuie satisfăcute în cazul releelor prevăzute cu compensatoare de temperatură, sînt specificate în tabelul nr. 17.1.

Tabelul 17.1

Caracteristicile releelor de declanșare alimentate pe toate fazele

Releul de suprasarcină	Tipul 1		Tipul 2		Temperatura de referință a mediului ambiant
	A	*B*	*C*	*D*	
Necompensat la temperatura mediului ambiant	1,05	1,20	0,87	1,00	[1]
Compensat la temperatura mediului ambiant	1,05 1,05 1,00	1,20 1,30 1,200	0,87 0,87 0,87	1,05 1,11 1,00	+20°C − 5°C +40°C

[1] Temperatura mediului ambiant poate avea orice valoare cuprinsă între −5°C ... +40°C. Valorile recomandate sînt +20°C și +40°C.

Declanșarea prin relee termice multipolare alimentate numai pe unele faze. În cazul particular al unui releu tripolar alimentat numai pe două faze, valorile factorilor A, B, C, D sînt cele din tabelul 17.2

Tabelul 17.2

Releul de suprasarcină	Tipul 1		Tipul 2		Temperatura de referință a mediului ambiant
	A	*B*	*C*	*D*	
Necompensat la temperatura mediului ambinat	1,05	1,32	0,87	1,10	+ 20°C sau +40°C
Compensat la temperatura mediului ambiant	1,05	1,32	0,87	1,16	+20°C

Releul este alimentat pe toate trei fazele cu un curent de reglaj multiplicat cu factorul *A* sau *C* în funcție de tipul releului.

După două ore se întrerupe una din faze, iar pe celelalte două curentul aplicat trebuie să fie egal cu curentul de reglaj multiplicat cu factorul *B* sau *D*. Declanșarea trebuie să se producă în mai puțin de 2 h de la aplicarea curentului.

Declanșarea prin relee termice tripolare de suprasarcină sensibile la defectarea unei faze cînd sarcina nu este echilibrată pe toate trei fazele. În funcție de tipul 1 sau 2 al releului de suprasarcină, declanșarea nu trebuie să se producă în mai puțin de două ore, din starea rece a aparatului, la aplicarea unui multiplu de curent *A* sau *C*, conform tabelului 17.3. Cînd faza parcursă de curentul mai slab este scoasă din circuit, iar pe celelalte două faze se aplică un multiplu al curentului de reglaj *B* sau *D*, declanșarea trebuie să se producă în mai puțin de două ore de la aplicarea curentului.

Tabelul 17.3

Releul de suprasarcină	Tipul 1		Tipul 2		Temperatura mediului ambiant
	A	*B*	*C*	*D*	
Compensat la temperatura mediului ambiant	2 poli: 1,0 1 pol: 0,9	2 poli: 1,15 1 pol: 0	2 poli: 0,83 1 pol: 0,75	2 poli: 0,95 1 pol: 0	+20°C

În cazul releelor de suprasarcină avînd un curent de suprasarcină reglabil într-un anumit domeniu, caracteristicile trebuie verificate atît pe poziția minimă, cît și pe poziția maximă.

Valorile cuprinse în tabelul 17.3 se aplică la toate combinațiile posibile între poli.

Etalonarea releelor și ridicarea caracteristicilor timp-curent se face folosind metodele de încercare descrise în cap. 15.

17.2. Coordonarea caracteristicilor cu dispozitive de protecţie (DP) la scurtcircuit

Prescripţiile CEI 292-1 A recomandă utilizarea unor dispozitive de protecţie la scurtcircuit, fie montate în aceeaşi carcasă în amonte de demaror, fie montate separat în afara demarorului. Dispozitivele de protecţie pot fi siguranţe sau declanşatoare maximale de curent care trebuie să îndeplinească următoarele condiţii:

1. Să aibă o capacitate de rupere la scurtcircuit cel puţin egală cu curentul prezumat de scurtcircuit al instalaţiei considerate, cînd este montat în amonte de demaror.

2. Să nu declanşeze în locul demarorului la curenţi ce nu depăşesc nivelul maxim de suprasarcină ce se pot produce în serviciu normal, inclusiv curentul motorului blocat. Să suporte, pe timpul de declanşare al releului de suprasarcină, curenţii inferiori sau egali cu puterea de rupere a demarorului definită pentru categoria de utilizare AC_3.

3. Cînd dispozitivul este inclus în carcasa demarorului, trebuie să funcţioneze fără manifestări exterioare care să depăşească un perimetru de securitate stabilit de producător.

Tipurile de coordonare şi condiţiile complementare. Pentru curenţii ce depăşesc capacitatea de rupere a demarorului corespunzătoare diverselor categorii de utilizare AC_3 şi AC_4, trecerea curentului prin demaror înainte de a se produce ruperea poate provoca deteriorarea acestuia.

Tipurile de coordonare considerate normale, în funcţie de gradul de deteriorare a demarorului în procesul întreruperii curenţilor de scurtcircuit, sînt următoarele:

Tipul a. Deteriorarea, care presupune înlocuirea contactelor, camerei de stingere, releelor de suprasarcină sau a întregului demaror, cînd carcasa a rămas intactă în exterior. Analiza comportă şi o verificare a rigidităţii dielectrice.

Tipul b. Caracteristicile releului de suprasarcină a demarorului pot fi degradate permanent. Nici o altă deteriorare nu trebuie să se producă.

Tipul c. Demarorul nu trebuie să fi suferit nici o deteriorare.

Pentru toate trei tipurile nu se consideră deteriorare o uşoară carbonizare a contactelor şi sudura contactelor. Riscul de sudură trebuie să constituie obiectul înţelegerii dintre producător şi beneficiar.

Cînd se folosesc demaroare prevăzute cu dispozitive de protecţie la scurtcircuit, trebuie cunoscute următoarele mărimi:

— pentru aparatul de conectare — curentul de vîrf maxim admisibil corespunzător unuia din tipurile de coordonare citate mai sus;

— pentru releul de suprasarcină — curentul maxim admisibil numai pentru demaror şi integrala Joule maxim admisibilă, din starea rece, corespunzătoare unuia din tipurile de coordonare;

— pentru dispozitivul de protecţie — curentul de vîrf maxim admisibil şi integrala Joule maximă în funcţie de curentul prezumat de scurtcircuit. De asemenea caracteristicile timp-curent.

17.3. Verificarea condiţiilor de coordonare

Verificarea condiţiilor generale de coordonare cuprind următoarele încercări:

— Condiţia 1 — se verifică prin rezultatele încercării la capacitatea de rupere conform parametrilor specificaţi la paragraful intitulat „Condiţiile pentru încercarea tip p".

— Condiţia 2 — se verifică încercînd dispozitivul de protecţie la suprasarcină.

— Condiţia 3 — se verifică în cursul încercărilor specificate la paragraful intitulat „Condiţiile pentru încercare tip q."

Starea demarorului pentru încercări. Demarorul şi dispozitivul de protecţie la scurtcircuit trebuie să fie conectate ca în condiţii de exploatare. Toate încercările se fac pornind din starea rece.

Perimetrul de securitate menţionat la punctul 3 § 17.2 este constituit:

— în cazul unui demaror montat într-o carcasă metalică — de carcasa acestuia;

— în cazul unui demaror montat în carcasă izolantă — de o foaie metalică cu care se acoperă carcasa;

— în cazul absenţei carcasei — de un grilaj metalic materializînd perimetrul de securitate indicat de producător.

În toate aceste cazuri, perimetrul de securitate definit ca mai sus va fi racordat la punctul neutru al sursei de alimentare sau la un neutru artificial practic inductiv, care permite un curent de defect de minimum 100 A.

Curenţii de încercare şi circuitele de încercare. Se iau în considerare două circuite de încercare şi două valori ale curentului de încercare:

Condiţiile pentru încercarea tip p. Circuitul de încercare trebuie să cuprindă sursa de alimentare, demarorul asociat cu dispozitivul de scurtcircuit şi circuitul de sarcină. Curentul prezumat de scurtcircuit, la bornele de racordare a dispozitivului de protecţie la sursa de alimentare, trebuie să fie egal cu una din următoarele două valori: de zece ori curentul cu valoarea cea mai mare — pentru încercarea „p" sau 50 kA.

Parametrii încercării vor fi următorii:

$$I_1 = 0{,}75 I_c {}^{+\ 0\%}_{-10\%};$$

$$I_2 = 1{,}25 I_c {}^{+10\%}_{-\ 0\%},$$

unde: I_c este curentul corespunzător punctului de intersecţie a curbelor de suprasarcină medii a demarorului şi dispozitivului de protecţie, măsurat pe caracteristica timp-curent.

Tensiunea de restabilire 1,1 U_e, U_e fiind tensiunea nominală de utilizare corespunzătoare asociaţiei demaror + DP pentru tipul de coordonare convenit.

Factorul de putere $\cos\varphi = 0{,}35 \pm 0{,}05$, ce se obţine prin reglarea corespunzătoare a inductanţelor şi rezistenţelor.

Condiţiile pentru încercarea tip q: Curentul de încercare trebuie să fie egal cu curentul prezumat de scurtcircuit asociat cu tipul de coordonare convenit.

Circuitul de încercare, tensiunea de alimentare, factorul de putere şi tensiunea de restabilire, trebuie să corespundă condiţiilor prevăzute pentru întreruptoare automate, încercarea în circuit trifazat.

Tensiunea nominală ce va fi luată în considerare, pentru încercarea de mai sus, va fi tensiunea nominală de utilizare a asociației demaror + DP, pentru tipul de coordonare convenit.

Metoda de încercare și rezultatele ce urmează a fi obținute. Dacă aparatul de conectare este un contactor, bobina sa se alimentează de la o sursă de alimentare separată.

● Pentru încercarea tip p se efectuează cîte o manevră de rupere pentru fiecare din cele două valori ale curentului indicate la pag. 429, demarorul fiind închis în prealabil. Încercarea se face declanșînd demarorul sau dispozitivul de protecție.

Pentru încercarea tip q se efectuează:

— o manevră de rupere prin dispozitivul de protecție, demarorul fiind închis în prealabil;

— două manevre de rupere prin dispozitivul de protecție, închiderea pe scurtcircuit realizîndu-se cu aparatul de conectare al demarorului.

● Demarorul asociat cu dispozitivul de protecție este supus succesiv la cele două încercări p și trei încercări q. După fiecare încercare, durata de pauză va fi suficientă pentru a permite tuturor elementelor să revină la temperatura mediului ambiant.

Pentru tipul de coordonare a, se va verifica demarorul după fiecare încercare și se va proceda la înlocuirea pieselor, dacă este necesar.

Pentru tipul de coordonare b, se va verifica demarorul după fiecare încercare, contactele sudate vor fi separate și releul de suprasarcină va fi înlocuit dacă se consideră necesar, după verificarea caracteristicii sale timp-curent.

Pentru tipul de coordonare c, singura intervenție necesară, după fiecare încercare, este separarea contactelor dacă sînt sudate și rearmarea releelor de suprasarcină dacă este necesar.

În toate cazurile de mai sus este necesară verificarea dispozitivului de protecție la scurtcircuit, rearmarea releelor de suprasarcină, rearmarea declanșatorului întreruptorului automat sau dacă se folosesc siguranțe fuzibile, înlocuirea elementelor fuzibile dacă cel puțin unul din ele a funcționat.

În buletinul de încercare se menționează valorile maxime ale integralei Joule și curentului de vîrf obținute în cursul încercărilor.

● Pentru toate tipurile de coordonare trebuie să se verifice că demarorul singur sau împreună cu dispozitivul de protecție (dacă se găsește în aceeași carcasă) nu provoacă prin efectul încercărilor de mai sus, incendiu și nu pune în pericol instalațiile învecinate. De asemenea se verifică dacă nu s-a produs arderea fuzibilului din circuitul de legare la masă.

Pentru tipurile de coordonare b și c, nu trebuie să se producă arc prelungit sau amorsarea arcului între faze sau între faze și masă.

După executarea tuturor încercărilor, demarorul trebuie să satisfacă condițiile de încercare la rigiditate dielectrică și la proba de rupere în condițiile impuse pentru demarorul singur.

Pentru tipul de coordonare c, după terminarea întregului ansamblu de încercări, releul de suprasarcină trebuie să satisfacă condițiile impuse pentru caracteristica de declanșare. Reglajul se verifică în condițiile impuse în tabelele 17.1 ... 17.3 sau de comun acord cu beneficiarul la curenți mai mari.

18. Tablouri de distribuţie de joasă tensiune

18.1. Nomenclatura probelor

Tablourile de distribuţie de joasă tensiune în sensul definiţiilor cuprinse în STAS 5358-68 se fabrică pentru tensiuni pînă la 500 V c.a. şi curenţi nominali pînă la 630 A. Prescripţiile VDE 0660-5 din 1967 extind acest domeniu pînă la 1 000 V c.a. şi 3 000 V c.c.

Nomenclatorul de încercări prezentat în tabelul 18.1 cuprinde verificările ansamblului de cutii, conţinînd bare colectoare, conductoare de legătură şi diverse aparate de comutaţie, care la rîndul lor poartă girul încercărilor efectuate conform standardelor şi normelor interne de produs.

Înainte de începerea verificărilor, atît la fabrica constructoare, cît şi în exploatare, prevăzute înainte de punerea în funcţiune este foarte important să se facă verificări individuale de ansamblu privind:

Măsurarea distanţelor de străpungere şi conturnare între căile de curent ale elementelor componente şi între căile de curent şi masă.

Verificarea măsurilor de securitate a personalului de deservire, a bornei de legare la pămînt a tablourilor metalice. În ceea ce priveşte tablourile confecţionate din materiale izolante termorigide, acestea vor fi prevăzute cu bornă de legare la pămînt a plăcilor metalice pe care se montează aparatele şi care în funcţionare normală nu sînt parcurse de curent.

Verificarea montării corecte a siguranţelor cu legături în faţă (LFi), respectiv existenţa unei plăci izolante, care micşorează posibilitatea de atingere accidentală a părţilor sub tensiune, cînd capacul cutiei este deschis.

Verificarea posibilităţii de blocare a separatoarelor, care să împiedice deschiderea lor cînd întreruptorul principal al circuitului de alimentare este în poziţia anclanşat.

Tabelul 18.1

Încercările tablourilor de distribuţie de joasă tensiune

Nr. crt.	Denumirea încercării	Tipul încercării						Observaţii
		I	L	T	PF	P	S	
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Verificarea de ansamblu, aspect dimensiuni de gabarit, verificarea schemei electrice, marcare	×	×	×	×	×	—	STAS 5358-68
2	Verificarea la căldură excesivă şi la foc	—	—	×	—	—	×	STAS 5358-68 STAS 2000-68
3	Verificarea izolaţiei în stare rece şi uscată	×	×	×	—	—	—	STAS 5358-68 STAS 553-74 VDE 0660/5—67
4	Idem în stare caldă şi umedă	×	—	×	—	—	—	idem
5	Verificarea comportărilor la încălzire	×	—	×	—	—	×	idem
6	Verificarea stabilităţii termice	×	—	×	—	—	×	idem
7	Verificarea capacităţii de închidere şi rupere	×	—	×	—	—	×	idem
8	Verificarea gradelor normale de protecţie	×	—	×	—	—	×	idem
9	Verificarea la vibraţii	×	—	×	—	—	×	idem
10	Verificarea funcţionării mecanice	×	×	×	×	—	—	VDE 0660/5-67

Verificarea existenței unor piese de separare care să împiedice amorsarea arcului electric de întrerupere între diversele aparate componente aflate sub tensiune sau între căile de curent și formarea unui arc electric permanent.

Verificările preliminare cuprind și controlul schemei electrice ținînd seama de caracterul de unicat al tablourilor.

18.2. Verificarea comportării tablourilor la căldură excesivă și la foc

La această probă sînt verificate numai tablourile confecționate din materiale izolante termorigide care trebuie să aibă produsul *RI* conform STAS 7137-73 cel puțin egal cu 2.

Verificarea se efectuează cu dispozitivul de încercare prezentat în fig. 18.1. În epruvetă se practică o gaură conică prin care se trece un deget conic încălzit la 300°. Se exercită o apăsare cu o forță de 6 N timp de 2 min. În acest

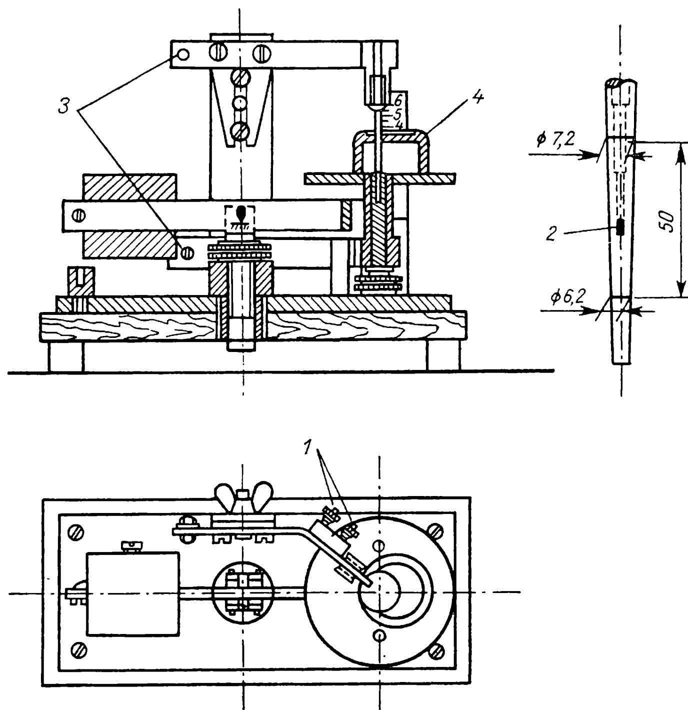


Fig. 18.1. Dispozitiv pentru verificarea rezistenței la căldură excesivă și la foc:
1 — bornele termocuplului; *2* — termocuplului; *3* — borne pentru circuitul de încălzire; *4* — piesa de încercat.

timp se produc la suprafața superioară a piesei, în dreptul orificiului, prin intermediul unui generator de înaltă frecvență, scîntei de 6 mm lungime.

Condiția impusă pentru ca materialul să fie considerat corespunzător este ca gazele produse prin încălzire să nu se aprindă în contact cu scînteile.

18.3. Verificarea izolației

Verificarea rezistenței de izolație se face în starea rece și uscată a aparatului, după proba de încălzire și în camera climatică după proba de umiditate.

Tensiunea de încercare trebuie să aibă o formă practic sinusoidală la o frecvență cuprinsă în domeniul 45 ... 65 Hz. Încercarea se face cu toate aparatele în circuit, cu excepția celor pentru care sînt prescrise prin standardele respective de produs tensiuni reduse, ca de exemplu: bobinele electromagneților, elemente semiconductoare, microîntreruptoare etc. În circuitele principale tensiunea de încercare se aplică între căile de curent și masă constituită din: carcasă, suporturi metalice etc. și între căile de curent ale diverselor faze. În circuitele secundare, tensiunea de încercare se aplică între masă și căile de curent secundare.

Carcasa tablourilor confecționate din materiale izolante se acoperă în exterior cu o folie metalică, tensiunea de încercare se aplică între această folie și părțile metalice active și inactive din interiorul cutiei, cele mai apropiate de carcasă. Se acoperă de asemenea cu folii metalice mînerele izolante, tensiunea aplicîndu-se între folia ce le acoperă și căile de curent din interiorul cutiei.

Mărimea tensiunii de încercare depinde de aparatele din interiorul cutiei. Pe ansamblu, tablourile trebuie să reziste la o tensiune de 2 500 V aplicată timp de un minut. Rezistența de izolație măsurată între fază și masă trebuie să fie minim 10 MΩ în stare rece și 2 MΩ după proba de încălzire și umiditate.

Încercarea se consideră corespunzătoare dacă nu s-au produs străpungeri sau conturnări.

18.4. Verificarea comportării la încălzire

Pentru verificarea încălzirii, tablourile trebuie să fie complet echipate ca în condiții de exploatare cu toate accesoriile prevăzute în documentație. Toate produsele ce intră în componența tabloului vor fi încărcate la sarcina nominală; bobinele vor fi alimentate cu tensiunea nominală, elementele de înlocuire ale siguranțelor vor fi, dacă este posibil, înlocuite cu modele care să aibă puterea disipată maximă pentru curentul nominal respectiv etc.

În cazul cînd tabloul de distribuție conține mai multe circuite, care nu pot, date fiind condițiile de lucru, să funcționeze simultan, se permite ca pentru verificarea încălzirii să se aplice un curent redus cu un factor de încărcare care ține seamă de numărul de circuite. Valorile admise de STAS 5358-73 sînt următoarele:

Numărul circuitelor	2	3 și 4	5 și 6	7 ... 10;
Factorul de încărcare	0,7	0,6	0,5	0,4.

Prescripțiile VDE 0660/5 prevăd și posibilitatea modelării încălzirii elementelor componente din interiorul tabloului cu rezistențe încălzitoare care să disipe aceeași putere ca aparatele în funcțiune. Se înțelege că această încercare este posibilă numai pentru tablouri tipizate sau pentru tablouri la care se prevede ca mărimea pierderilor în interior, indiferent de nomenclatorul aparatelor conținute, să fie practic identică.

Încălzirea se consideră corespunzătoare ,dacă nu se produc încălziri excesive ale elementelor și produselor din interior care să depășească tempera-

turile admisibile sau să împiedice funcționarea corectă. Temperatura carcaselor din materiale electroizolante termorigide nu trebuie să depășească stabilitatea termică Martens prevăzută pentru materialul respectiv. Pentru cutiile echipate cu siguranțe unipolare cu filet, verificarea încălzirii se face prin măsurarea temperaturii pieselor metalice în punctele de legare a conductoarelor la borne. Temperatura mînerelor și altor organe de acționare manuală nu trebuie să depășească temperatura admisă pentru asemenea repere.

18.5. Verificarea comportării la curenți de scurtcircuit

În standardele românești nu este reglementată metodologia de încercare a tablourilor la curenți de scurtcircuit, modul de încercare fiind lăsat la latitudinea producătorului, în funcție de produsele conținute de fiecare cutie. Prescripțiile VDE 0660/5 abordează problema în funcție de categoria produselor prevăzînd trei situații posibile:

a) tablourile un se încearcă la capacitatea de rupere în cazurile în care tipul constructiv nu se garantează pentru curenții de scurtcircuit și anume:
- tablourile simple, fără bare colectoare, care sînt dimensionate pentru un curent maxim (valoarea efectivă) de scurtcircuit de 5 kA; în această categorie intră de exemplu combinațiile cu comutatoare stea-triunghi;
- tablourile care sînt protejate cu siguranțe de maximum 63 A;
- tablourile ale căror circuite auxiliare sînt conectate prin intermediul unor transformatoare de comandă sau separatoare de maximum 10 kVA;
- toate elementele componente ca: bare colectoare, suporturi de bare etc., care prin dimensionare sînt alese rezistente la scurtcircuit,

b) Verificarea stabilității tablourilor de distribuție la scurtcircuit prin calcul;

c) verificarea stabilității la scurtcircuit prin încercări.

În această categorie se includ toate tipurile de tablouri de distribuție neprevăzute la punctele a) și b).

Pregătirea încercării. Tablourile de distribuție și toate elementele componente se montează ca în condiții de exploatare. Dacă cutia se compune din cutii din același fel se încearcă numai cîte o cutie din fiecare tablou.

Încercarea se face sub tensiunea nominală. Dacă între aparatele supuse încercării se găsesc siguranțe, elementele lor înlocuitoare vor fi alese pentru curentul nominal cel mai mare prevăzut a se monta în tablou.

Cablurile de legătură sau scurtcircuitoarele trebuie astfel alese încît să fie garantate la scurtcircuit pentru a nu solicita în plus aparatul de încercat.

Circuitul de sarcină se montează în amonte de tablou, numărul de poli fiind cel corespunzător aparatului de încercat.

Etalonarea curentului de scurtcircuit prezumat se face după metodele descrise anterior. De asemenea, interpretarea oscilogramelor.

Toate plecările, respectiv bornele de ieșire ale tabloului de încercat vor fi scurtcircuitate.

Tablourile conținînd bare colectoare vor fi supuse în plus unei încercări destinate să verifice stabilitatea acestora la scurtcircuit și la alimentare pe scurtcircuit. În acest scop aplicarea scurtcircuitului se va face la distanța de 2 m de punctul de alimentare. Dacă bornele sînt mai scurte se aplică scurtcircuitarea la capătul barei.

Dacă bara are ramificaţii, verificarea de mai sus se face pentru fiecare ramificaţie în parte.

Desfăşurarea încercării. Încercarea circuitelor principale la scurtcircuit se face de două ori. Pauza între cele două manevre este de 3 min.

Valorile curenţilor de scurtcircuit indicate de VDE 0660/5 sînt identice cu cele cuprinse în tabelul 15.2. În ceea ce priveşte durata de menţinere a curentului de scurtcircuit se recomandă următoarele:

a) cînd protecţia se realizează printr-un aparat de protecţie din interiorul tabloului, acesta acţionează instantaneu sau temporizat în funcţie de caracteristicile sale tehnice;

b) cînd protecţia se asigură cu un aparat de protecţie din afara tabloului se prevede timpul de declanşare a acestui aparat. Dacă nu se specifică timpul de declanşare al aparatelor, stabilitatea la scurtcircuit se asigură pentru timpul de 100 ms.

În cazul că protecţia la scurtcircuit se realizează cu siguranţe, valoarea efectivă a curentului prezumat de scurtcircuit va fi egală cu capacitatea minimă de scurtcircuit prevăzută în normele siguranţelor.

Tablourile se încearcă la curentul admisibil de scurtă durată de 1 s, la valoarea curentului indicată de constructor şi la curentul limită dinamic corespunzător valorii capacităţii de rupere. Pentru tablourile fabricate în R.S.R. valorile curenţilor sînt indicate în STAS 5358-73, fiind 10 I_n pentru curentul limită termic şi 20 I_n pentru curentul limită dinamic.

Stabilitatea la scurtcircuit se consideră corespunzătoare cînd piesele izolante nu sînt avariate, cînd cablurile şi conductoarele nu sînt degradate. Se admite o uşoară îndoire a barelor care nu trebuie să afecteze distanţele de străpungere şi conturnare.

Aparatele din interiorul tablourilor trebuie să fie capabile să funcţioneze în continuare în regim normal după operaţiile de întreţinere uzuale ce urmează unei declanşări pe scurtcircuit.

18.6. Verificarea funcţionării mecanice

După montarea completă a tabloului toate dispozitivele de comandă urmează a fi acţionate de 10 ori. De asemenea, în cazul unor celule debroşabile, acestea vor fi de asemenea scoase şi introduse de 10 ori. Se va verifica că după aceste 10 acţionări toate broaştele, zăvoarele, mînerele, butoanele etc., rămîn în continuare în perfectă stare de funcţionare.

18.7. Verificarea gradelor normale de protecţie

Gradele normale de protecţie ale tablourilor capsulate din tablă, cu carcase metalice turnate sub presiune sau carcase din materiale izolante termorigide se reglementează conform STAS 5325-70. Acestea se referă la gradul de etanşeitate al carcasei, capacitatea acesteia de a nu permite pătrunderea corpurilor străine solide, a apei şi gradul de rezistenţă mecanică.

Determinarea şi verificarea gradelor normale de protecţie sînt reglementate de STAS 6588-62.

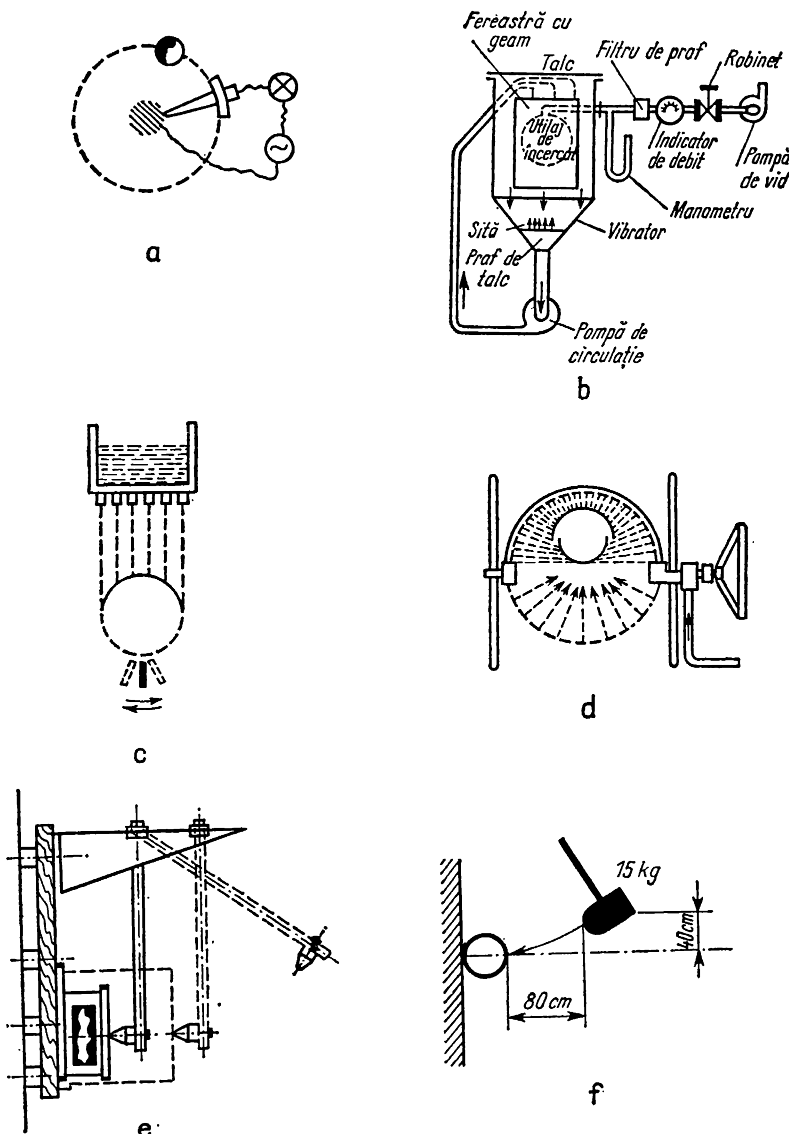


Fig. 18.2. Dispozitive pentru verificarea gradului de protecție:

a — contra pătrunderii corpurilor străine mai mari de 12,5 mm; *b* — contra pătrunderii prafului; *c* — contra pătrunderii picăturilor de apă sub un unghi de pînă la 15° față de verticală; *d* — contra stropiri cu apă (țeava oscilantă descrie un unghi de 180° în ambele sensuri cu o viteză de 90°/s; *e* — mecanică a carcaselor; *f* — mecanică a suprafețelor.

Încercările se execută cu dispozitivele indicate în fig. 18.2, impuse de același STAS.

Standardele în vigoare pentru aparatajul electric de înaltă tensiune

Codul	Anul de apariţie	Titlul
3686/1...7	1974	Întreruptoare pentru tensiuni alternative peste 1 kV
1564	1970	Separatoare de c.a. pentru tensiuni de 1 kV şi mai mari. Condiţii generale
8087	1968	Separatoare de sarcină de interior de înaltă tensiune. Condiţii generale
8935	1971	Siguranţe fuzibile limitatoare de curent pentru tensiuni mai mari de 1 kV. Condiţii generale
3999	1975	Aparate de protecţie contra supratensiunilor. Clasificare şi terminologie
7377	1973	Descărcătoare cu rezistenţă variabilă
4323	1970	Transformatoare de măsură de tensiune
4324	1970	Transformatoare de măsură de curent
4195	1970	Dispozitive pentru acţionarea întreruptoarelor peste 1 kV. Condiţii generale
4082	1968	Dispozitive pentru acţionarea separatoarelor cu tensiuni peste 1 kV. Condiţii generale
5325	1970	Grade normale de protecţie ale utilajelor electrice. Clasificare şi simbolizare
6588	1962	Grade normale de protecţie ale utilajelor electrice. Metode de încercare

Anexa 2

Standardele în vigoare pentru aparatajul de joasă tensiune

Codul	Anul de apariţie	Titlul
533	1973	Aparate de comutaţie de uz general. Condiţii generale
2000	1973	Aparate electrice pentru instalaţii. Condiţii generale
6871/1...7	1974	Echipamente electrice cu protecţie antiexplozivă şi antigrizutoasă
4480	1974	Întreruptoare automate
4479	1974	Contactoare şi ruptoare de joasă tensiune
7207	1965	Butoane de comandă
4641	1968	Prize şi fişe industriale
7208	1974	Electromagneţi de acţionare
6797	1972	Aparataj pentru maşinile de ridicat şi transportat limitatoare de cursă
4173	1972	Siguranţe de joasă tensiune de curent alternativ, cu mare putere de rupere
5358	1968	Tablouri de distribuţie închise pentru 500 V c.a. şi pînă la 630A·

Publicațiile Comitetului Electrotehnic Internațional care se referă (direct sau indirect) la problema încercării aparatelor electrice de înaltă tensiune

Codul	Denumirea	Anul de apariție
1	2	3
277	Definitions for switchgear and controlgear	1968
277 A	First supplement to Publication 277 (1968)	1974
	Întreruptoare	
56	High-voltage alternating current circuit-breakers	
56-1	Part 1 General and definitions	1971
56-2	Part 2 Rating	1971
56-3	Part 3 Design and construction	1971
56-4	Part 4 Type tests and routine tests	1972
56-5	Part 5 Rules for the selection of circuit-breakers for service	1971
56-6	Part 6 Information to be given with enquiries, tenders, and orders and rules for transport erection and maintenance	1971
267	Guide to the testing of circuit-breakers with respect to out-of phase switching	1968
427	Guide to the synthetique testing of high voltage alternating current circuit-breakers	1973
	Separatoare	
129	Alternating current isolaters (disconectors) and earthing switches	1961
129 A	First suppliment to Publication 129	1969
	Separatoare de sarcină	
265	High-voltage switches	1968
265 A	First supplement to Publication 265	1969
265 B	Second supplement to Publication 265	1969
265 C	Third supplement to Publication 265	1970
	Contactoare	
470	High-voltage alternating current contactors	1974
	Siguranțe fuzibile	
282	High-voltage fuses	1968
282-1	Part-1 Current-limiting fuses	
282-2	Part-2 Expulsion and similar fuses	
291	Fuse definitions	1968
420	High-voltage alternating current fuse-switch combinations and fuse circuit breaker combinations	1973
	Bobine de reactanță	
289	Reactors	1968
	Transformatoare de măsură	
185	Current transformers	1966
186	Voltage transformers	1966

Codul	Denumirea	Anul de apariţie
1	2	3
	Celule prefabricate	
298	High-voltage metal enclosed switichgear and controlgear	1969
466	High-voltage insulation-enclosed switchgear and controlgear	1974
	Descărcătoare	
99	Lightning arresters	
99-1	Part-1 Non-linear resistor type arresters for a.c. systems	1970
99-2	Part 2 Expulsion arresters	1962
233	Tests on large hollow porcelains for use in electrical instrumentation	1966
213	Tests on solid cape insuletors for overhead electric traction lines with a voltage greater than 1 000 V	1966
60	High-voltage test techniques	1973
71	Insultation coordination	1972
71 A	Application guide	1973

Anexa 4

Publicaţii CEI şi VDE
referitoare la aparatajul electric de joasă tensiune.

CEI — Publication 157-1 Deuxième édition 1973
Appareillage à basse tension.
Première partie: Disjoncteurs.

CEI — Publication 158-1 Deuxième édition 1970
Appareillage de commande à basse tension.
Première partide: Contacteurs.

CEI — Publication 337-1 Première édition 1970
Auxiliares de commande (appareils de conexion à basse tension pour des circuits de comande et des circuits auxiliaires, y compris les contacteurs auxiliaires).
Première partie: Prescriptions générales.

CEI — Publication 337-1 A Première édition 1973
Premier complément à la Publication 337-1 (1970).

CEI — Publication 292-1 Première édition 1969
Démarreurs de materus à basse tension.
Première partie: Démarreurs direct (sous pleine tension) en courant alternatif.
Publication 292-1 Première édition
Premier complément à la Publication 292-1.

CEI — Publication 269-1 Première édition (Modifiée et reimprimée en 1973).
Coupe circuit à fusibles à basse tension.
Première partie: Règles générales.

VDE 6060
Teil 1/3.68 — Bestimmungen für Niederspannungsschaltgeräte
Teil 1 Bestimmungen für Schalter mit Nennspannungen bis 1000 V Wechselspannung und bis 3000 V Gleichspannung, für Steuerschalter und Schütze bis 10 000 V Wechselspannung.

VDE 0660
Teil 4/12.70 Bestimmungen für Niederspannungs-Hochleistungs — (NH) Sicherungen mit Nennspannungen bis 1000 V Wechselspannung und bis 3000 V Gleichspannung.

VDE 0660
Teil 5/11.67 Bestimmungen für fabrikfertige Schaltgeräte — kombinationen (FSK) mit Nennspannungen bis 1000 V Wechselspannung und bis 3000 V Gleichspannung.

VDE 0635 Vorschriften für Leitungsschutzsicherungen mit geschlossenem Schnelzeinsatz 500 V und bis 200 A einschliesslich Sondervorschriften für plinke Leitungsschutz sicherungen für 750 V und den Bergban 500 V.

Anexa 5

Umiditatea absolută în g/m^3 a aerului funcție de temperatura și umiditatea relativă

Temperatura °C	Umiditatea relativă, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92	4,4	4,9
1	0,52	1,04	1,56	2,08	2,60	3,12	3,64	4,16	4,7	5,2
2	0,56	1,12	1,68	2,24	2,80	3,36	3,92	4,48	5,0	5,6
3	0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	4,20	4,80	5,4	6,0
4	0,64	1,28	1,91	2,56	3,20	3,84	4,48	5,12	5,8	6,4
5	0,68	1,36	2,04	2,72	3,40	4,08	4,76	5,44	6,1	6,8
6	0,73	1,46	2,19	2,92	3,63	4,38	5,11	5,84	6,6	7,3
7	0,77	1,54	2,31	3,08	3,85	4,62	5,39	6,16	6,9	7,7
8	0,83	1,66	2,49	3,32	4,15	4,98	5,81	6,64	7,5	8,3
9	0,88	1,76	2,64	3,52	4,40	5,28	6,16	7,04	7,9	8,8
10	0,94	1,87	2,82	3,76	4,70	5,64	6,58	7,52	8,5	9,4
11	0,99	1,99	2,98	3,98	4,97	5,97	6,96	7,96	8,9	9,9
12	1,06	2,12	3,18	4,24	5,30	6,36	7,42	8,48	9,5	10,6
13	1,13	2,26	3,39	4,52	5,65	6,78	7,91	9,04	10,2	11,3
14	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00	7,20	8,40	9,60	10,8	12,0
15	1,28	2,56	3,84	5,12	6,40	7,68	8,96	10,20	11,5	12,8
16	1,36	2,72	4,08	5,44	6,80	8,16	9,52	10,90	12,2	13,6
17	1,45	2,89	4,33	5,78	7,22	8,67	10,10	11,60	13,0	14,5
18	1,54	3,07	4,61	6,14	7,68	9,22	10,80	12,30	13,8	15,4
19	1,63	3,26	4,88	6,51	8,13	9,76	11,40	13,00	14,6	16,3
20	1,72	3,44	5,16	6,88	8,60	10,30	12,00	13,80	15,5	17,2
21	1,82	3,65	5,48	7,30	9,13	11,00	12,80	14,60	16,4	18,2
22	1,93	3,87	5,80	7,44	9,67	11,60	13,50	15,50	17,4	19,3
23	2,05	4,10	6,15	8,20	10,25	12,30	14,30	16,40	18,4	20,5
24	2,17	4,34	6,51	8,68	10,85	13,00	15,20	17,40	19,5	21,7
25	2,29	4,58	6,87	9,16	11,45	13,7	16,00	18,30	20,6	22,9
26	2,42	4,84	7,26	9,68	12,10	14,00	16,9	19,40	21,8	24,2
27	2,56	5,12	7,68	10,25	12,8	15,40	17,9	20,50	23,0	25,6
28	2,71	5,42	8,15	10,85	13,5	16,30	19,00	21,70	24,4	27,5
29	2,86	5,72	8,58	11,44	14,3	17,20	20,00	22,90	25,7	28,6
30	3,02	6,04	9,05	12,10	15,10	18,10	21,10	24,10	27,2	30,2
31	3,18	6,36	9,54	12,70	15,9	19,10	22,30	25,40	28,6	31,8
32	3,35	6,71	10,06	13,40	16,80	20,10	23,50	26,80	30,1	33,5
33	3,56	7,08	10,60	14,20	17,70	21,20	24,80	28,30	31,8	35,4

Temperatura °C	Umiditatea relativă, %									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
34	3,73	7,45	11,20	14,90	18,70	22,40	26,10	29,80	33,6	37,3
35	3,94	7,88	11,80	15,80	19,70	23,60	27,60	31,50	35,4	39,4
36	4,15	8,30	12,45	16,60	20,80	24,90	29,00	33,20	37,3	41,5
37	4,37	8,74	13,20	17,50	21,9	26,20	30,60	35,00	39,3	43,7
38	4,60	9,20	13,80	18,40	23,00	27,60	32,70	36,80	41,4	46,0
39	4,84	9,88	14,50	19,40	24,2	29,00	33,9	38,70	43,6	48,4
40	5,09	10,20	15,30	20,40	25,40	30,50	35,60	40,70	45,8	50,9
50	8,27	16,50	24,80	33,10	41,40	49,60	57,90	66,20	74,4	82,7
60	13,00	26,00	39,00	52,00	65,00	78,00	91,00	104,0	117,0	130,0

Anexa 6

Umiditatea absolută și tensiunea (presiunea) vaporilor de apă în aerul saturat (la apariția primului condens)

Temperatura	Umiditatea absolută	Tensiunea vaporilor de apă		Temperatura	Umiditatea absolută	Tensiunea vaporilor de apă	
°C	g/m³	N/m²	torr	°C	g/m³	N/m²	torr
0	4,8	613,28	4,6	26	24,4	3359,72	25,2
				27	25,8	3559,70	26,7
1	5,2	653,27	4,9	28	27,2	3786,35	28,4
2	5,6	706,60	5,3	29	28,7	3999,67	30,0
3	6,0	759,93	5,7	30	30,3	4239,65	31,8
4	6,4	813,26	6,1				
5	6,8	866,59	6,5	31	32,0	4492,96	33,7
				32	33,8	4759,60	35,7
6	7,3	933,25	7,0	33	35,7	5026,25	37,7
7	7,8	999,91	7,5	34	37,6	5319,56	39,9
8	8,5	1066,57	8,0	35	39,6	5626,20	42,2
9	8,8	1146,57	8,6				
10	9,4	1226,56	9,2	36	41,7	5946,17	44,6
				37	43,9	6279,48	47,1
11	10,0	1306,55	9,8	38	46,2	6626,12	49,7
12	10,7	1399,88	10,5	39	48,6	6699,42	52,5
13	—	—	—	40	51,1	7372,72	55,3
14	12,1	1599,86	12,0				
15	12,8	1706,52	12,8	41	53,8	7786,02	58,4
				42	56,5	8199,32	61,5
16	13,6	1813,18	13,6	43	59,4	8639,28	64,8
17	14,5	1933,17	14,5	44	62,3	9105,91	68,3
18	15,4	2066,49	15,5	45	65,4	9585,87	71,9
19	16,3	2199,81	16,5				
20	17,3	2333,14	17,5	46	68,7	10092,50	75,7
				47	72,0	10612,46	79,6
21	18,3	2493,12	18,7	48	75,5	11172,41	83,8
22	19,4	2639,78	19,8	49	79,2	11745,70	88,1
23	20,6	2813,10	21,1	50	81,0	12345,65	92,6
24	21,8	2986,42	22,4				
25	23,0	3173,07	23,8				

Anexa 7

Condițiile de verificare a capacității de comutație a contactoarelor, conform STAS 4479-74

Categoria		Valoarea curentului nominal de utilizare I_e, A	Închidere			Rupere		
			I/I_e	U/U_e	cos φ	I/I_e	U/U_e	cos φ
Curent alternativ	AC-1	Toate valorile	1,5	1,1	0,95	1,5	1,1	0,95
	AC-2		4	1,1	0,65	4	1,1	0,65
	AC-3	$\leqslant 17$	10	1,1	0,65	8	1,1	0,65
		$17 < I_e \leqslant 100$	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35
		> 100	8	1,1	0,35	6	1,1	0,35
	AC-4	$\leqslant 17$	12	1,1	0,65	10	1,1	0,65
		$17 < I_e \leqslant 100$	12	1,1	0,35	10	1,1	0,35
		>100	10	1,1	0,35	8	1,1	0,35
Curent continuu			I/I_e	U/U_e	L/R ms	I/I_e	U/U_e	L/R ms
	DC-1		—	—	—	—	—	—
	DC-2	toate valorile	4	1,1	2,5	4	1,1	2,5
	DC-3	toate valorile	4	1,1	2,5	4	1,1	2,5
	DC-4	toate valorile	4	1,1	15	4	1,1	15
	DC-5	toate valorile	4	1,1	15	4	1,1	15

Notă. Semnificația notațiilor utilizate în acest tabel este următoarea: I_e — curent de utilizare; U_e — tensiune de utilizare.

Anexa 8

Condițiile de verificare a rezistenței la uzură electrică a contactoarelor conform STAS 4479-74

	Categoria	Valoarea curentului nominal de utilizare I_e, A	Închidere			Rupere		
			I/I_e	U/U_e	cosφ	I/I_e	U/U_e	cosφ
Curent alternativ	AC-1	toate valorile	1	1	0,95	1	1	0,95
	AC-2		2,5	1	0,65	2,5	1	0,65
	AC-3	17 A	6	1	0,65	1	0,17	0,65
		17 A	6	1	0,35	1	0,17	0,35
	AC-4	17 A	6	1	0,65	6	1	0,65
		17 A	6	1	0,35	6	1	0,35

	Categoria	Valoarea curentului nominal de utilizare I_e, A	Închidere			Rupere		
			I/I_e	U/U_e	cosφ	I/I_e	U/U_e	cosφ
Curent continuu	DC-1	toate valorile	1	1	1	1	1	1
	DC-2	toate valorile	2,5	1	2	1	0,1	7,5
	DC-3	toate valorile	2,5	1	2	2,5	1	2
	DC-4	toate valorile	2,5	1	7,5	1	0,3	10
	DC-5	toate valorile	2,5	1	7,5	2,5	1	7,5

Notă. Semnificația simbolurilor utilizate este următoarea: I_e — curentul nominal de utilizare; U_e — tensiunea nominală de utilizare; I — curentul de închidere, respectiv de rupere; U — tensiunea de închidere, respectiv de restabilire.

Anexa 9

Condiții de verificare a capacității de comutație a contactelor auxiliare, conform STAS 4479-74

Felul curentului	Categoria	Condiții normale de utilizare						Condiții normale de utilizare					
		Închidere			Rupere			Închidere			Rupere		
Curent alternativ	AC-11	I	V	cosφ	I	U_r	cosφ	I	V	cosφ	I	U_r	cosφ
		10 I_e	U_e	0,7	I_e	U_e	0,4	11 I_e	11 U_e	0,7	11 I_e	1,1 U_e	0,7
Curent continuu	DC-11	I	V	T 0,95	I	U_r	T 0,95	I	V	T 0,95	I	U_r	T 0,95
		I_e	U_e	$6 \times P$*	I_e	U_e	$6 \times P$	1,1 I_e	1,1 U_e	$6 \times P$	1,1 I_e	1,1 U_e	$6 \times P$

*) Conform CEI 337-1A valoarea $6 \times P$ rezultă dintr-o relație empirică care se apreciază că reprezintă majoritatea sarcinilor magnetice în curent continuu pînă la limita superioară de $P = 50$ W, iar $6 \times P = 300$ ms. Se consideră că sarcinile avînd o energie absorbită mai mare ca 50 W sînt formate din sarcini cuplate în paralel. În consecință valoarea de 300 ms trebuie să constituie limita superioară, indiferent de energia absorbită.

Categ. AC-11 comanda electromagneților de c.a.
Categ. DC-11 comanda electromagneților de c.c.

Observații. 1. Prin condiții anormale de utilizare se înțeleg situații limită ca de exemplu aceea în care electromagnetul rămînînd deschid curentul bobinei crește foarte mult. Contactele auxiliare trebuie să fie în măsură să suporte și să rupă acești curenți de avarie, fără să se deterioreze

2. Semnificația simbolurilor utilizate este următoarea: I — curentul circuitului de închidere sau rupere; U — tensiunea înainte de operația de închidere; I_e — curentul nominal de utilizare; U_e — tensiunea nominală de utilizare; U_r — tensiunea de restabilire; $T_{0,95}$ —timpul necesar pentru a atinge 95% din curentul de stabilizare exprimat în secunde; $P = U_e I_e$ — puterea absorbită în regim stabilizat exprimată, în W.

1. Máthé, B., Curelaru, A., Ogrezeanu, S. *Aparate electrice de înaltă tensiune. Montare, întreținere, exploatare.* București, Editura tehnică, 1973.
2. Dulin, V. A. *Metodî issledovania nadejnosti nizkovoltnîh apparatov*, Moscova, Editura Energhia, 1970.
3. Hortopan, Gh. *Aparate electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1972.
4. Hortopan, Gh. Cosmin, Gh. Huhulescu M., Panaite, V., Simulescu, D., Tomioagă, R. *Aparate electrice de joasă tensiune.* București, Editura tehnică, 1969.
5. Suciu, I. *Aparate electrice.* București, Editura didactică și pedagogică, 1968.
6. Dzierzbicki, S. *Badanie aparatow electrycznych.* PanstworeWydawnictwo Naukowe. Oddzial w Lodzi, 1972.
7. Butkevici, G. V. *Osnovî teorii elektriceskih apparatov.* Moscova, Visșaia Skola, 1970.
8. Butkevici, G. V. — *Dugovîe proțessî pri kommutații elektriceskih țepei.* Moscova, Editura Energhia, 1973.
9. Novicov, I.N. *Teoria i rasciot electriceskih apparatov*, Leningrad, Editura Energhia, 1970.
10. Taev, I. S. *Electriceskie kontactî i dugogasitelnîe ustroistva apparatov nizkovo napriajenia*, Moscova, Editura Energhia, 1973.
11. Marinescu, A., Cîrstea, D. *Noul laborator de înaltă tensiune al uzinelor Electroputere-Craiova.* „Electrotehnica" 21, *6*, p. 229—241, (1973).
12. Cîrstea, D., Rarinca, O., Rotileanu, P., Curelaru, A. *Laboratorul de mare putere al uzinelor Eelectroputere-Craiova* „Electrotehnica", 12, *9*, p. 333—342, (1973).
13. Mihăileanu, C., Máthé, B. *Stația de încercări de mare putere și laboratorul de înaltă tensiune a ICENERG.* „Energetica" A, 21, *1*, p. 49—57, (1973).
14. * * * Institut „Pruffeld für elektrische Hochleistungstechnik. Performance Catalogue (Anglia).
15. Kohout, I., Zajic, A. *Zkratovna VUSE Bechovice* (R.S.C.) „Elektrotechnik, 28, *7*, p. 196—199, (1973).
16. Fedcienco, I. K. *Tehnika vîsokih napriajenii* (U.R.S.S.) Kiev, Vîsșaia Skola, 1969.
17. Leber, R. *Die Mess-und Prüftechnik in Hochleistungsversuchsfelder.* „Techn. Mitt, AEG — Telefunken", 62, *7*, p. 284—289, (1972).
18. * * * *Europe's largest switchgear testing station.*" Electrical Review" 192, *23*, p. 821, (1973).

19. S c h w a r z, H. *Gegenwärtiger Stand und Entwicklungsziel der Hochleistungsprüffelder des IPH.* „Wiss, techn. Mitt. IPH“, *11*, p. 3—4, (1970).

20. B o h n, G., H e i s e, W., M o l l e r, K. *The AEG HV Institute as testing station for apparatus and instalation for electric power distribution*“ AEG Telefunken Progress″, *1*, p. 1—11, (1972).

21. R e i s n e r, H. *Fehler in Schaltanlagen von 10 bis 110 kV. Storungs-und Schadenstistik der VDEW.* Berlin-Haus Techn Vortragsveroff“, *284*, p. 3—9, (1971).

22. P o u a r d, M., *Fiabilité de l'appareillage à haute tension.* „RGE“, 80, *4*, p. 273—275, (1971).

23. Z b i r a l, G u i d o — *Störungen im österreichischen 110 kV Netz, verbunden mit Schaden anüberspannungsableitern.* „Electrotechnik und Maschinenbau“, 89, *4*, p. 153—155, (1972).

24. M á t h é B., G a v r i l ă G h., şi M i h a l c e a E. *Influenţa condiţiilor climatice locale asupra comportăii izolaţiei pe bază de răşini a întreruptorului 10—20 kV.* „Energetica“ 22, *1*, p. 30—36, (1974).

25. * * * — *Fewer accidence with H.V. Switchgear.* „Electrical Times“, *4281*, p. 14, (1973).

26. B e l o u s o v, A.K. ş i J a k u s i n, I .V. *Vliania klimaticekih vozdeistvii naperehodnoe soprotivlenie raziomnîh kontaktov.* „Elektriceskie kontaktî“, p. 141—143, (1973).

27 K o p p l, G., E r n i, H. *The reliability of high voltage circuit breakers.* „Brown Boveri Review“, *60*, p. 128—133, (1973).

28. C o s t i n a, D. M á t h é B ., S t a n c i u, V. *Studii asupra izolaţiei echipamentului electric de 110 kV, fabricat în RPR.* „Electrotehnica“, 10, *8*, p. 375—383, (1962).

29. N é m e t h, E. *Szigetelöanyagok öregedése.* „Elektrotechnika“, 56, *5*, p. 209—214, (1963).

30. V a j d a, G y. *A szigetelések romlása és romlásuk vizsgálata.* Budapest, Akadémiai Kiadó, 1964.

31. H o r v á t h, T. *Eine theoretische Betrachtung des Entstehens der Fangentladung.* „Periodica Politechna, Electrical Engineering, Budapest“ vol. 15, *2.* p. 145—153, (1971).

32. F e s e r, K. *Influence of humidity on the breakdown voltage of. d.c. and a.c. voltages in air.* „Bul. ASE“, 63, *6*, p. 278—281 (1972).

33. N é m e t h, E. *Proposed fundamental charakteristics describing dielectric processes in dielectrics.* „Periodica Polytechna, Electrical Engineering Budapest“, vol. 15, *4*, 305—322. (1971).

34. P a t k ó, J. B o g n á r, S. *Villamos szigeteléstechnika.* Budapest, Müszaki Könyvkiadó, 1973.

35. M c . N a l l y, I o s e p h, M., T h e o r e t, A n t i o n e *Explosion of air-blast circuit breakers subsequent to thermal degradation of auxi-*

liary resistor wire insulation. „IEEE Trans-Electrical Insulation", 8, *1*, p. 22—25, (1973).
36. Lambeth, P. J. Auxel, H., Verma, M. P. *Methodes de mesure de la severité de la polution naturelle compte tenue de son influence sur le comportement des isolateurs à haute tension.* „ Electrica" *20*, p.37—52, (1972).
37. Kopl, G. Ruoss, E. *Surtensions de manoeuvre dans les reseaux à haute et trés haute tension.* „Revue Brown Boveri", 57, *12*, p.554—561, (1970).
38. Vajta, M., Kertész, V. *Zárlatkorlatozó fojtòtekercsek aszimetrikus hibák által okozott zárlatiigénybevételei.* „Doc. VEIKI", Budapest, *68*, p.1—51, (1966).
39. Paris. L. *New trends in insulation coordonation application of new IEC Specification.* „ASEA Journal", 44, *4*, p. 147—154, (1971).
40. * * * *Certifying modified switchgear.* „Electrical Times" 159, *13*, p. 34, (1971).
41. Cuyang, M. *A review of some statistical aspects of high power tests.* „IEEE — PAS", 91, *3*, p. 721—726, (1972).
42. Suiter, H. *Stand der VDE — Bestimmungen fur Schaltgerate und Anlangen uber 1 kV.* „Techniace Mitt", 64, *11*, p. 470—473, (1971).
43. Burkhard, G. *Probleme der Niederspannungsschaltgerate.* „Wiss. techn. Mitt." Inst. „Pruffeld electrischen Hochleistungestechnik", *13*, p. 44—49, (1972).
44. Máthé, B., Stanciu, V. *Probleme actuale ale construcției și fabricației întreruptoarelor de înaltă tensiune în țara noastră.* „Electrotehnica", 9, *11*, p. 401—406, (1961).
45. Leber, R., Moller, K. *Forschung, Entwicklung und Prüfung im AEG Hochspannungsinstitut.* „Technische Mitt," AEG — Telefunken, 61, *1*, p. 77—83, (1971).
46. * * * *Recent trends in the specifications of dielectric tests for EHV power apparatus.* „ISI Bul". 23, *11*, p. 517—524, (1971).
47. König, D. *Hochspannungs-Sonderprufungen. Beitrage zur Erhohung Betribsicherheit elektriscer Schaltanlangen.* „Calor-Emag Mitt," 1, p. 2, (1972).
48. Bouteanu, M. *Guide pour le traitement statistique de resultats d'essais effectues a des niveaux predeterminé de la contraintes.* „Bul. direction Etudes et Recherches Edf", B, *3*, (1971).
49. Koppl, G., Erni, H. *Zur Zuverlassigkeit von Hochspannungsschaltern,* „Brown Boveri Mitt", 60, *4*. p. 121—133, (1973).
50. Kussy, F. W., Heberlein, G. E. *Developments of methods for qualification of class IE equipment for seismic condition.* „IEEE Trans. PAS" 92, *2*, p. 635—642, (1973).

51. * * * *Cude d'éssais pour la verification de la tenue en atmosphere humide et sous condensation des pieces isolants en resins synthetique pour emploi a l'interior.* Document EdF HMO, 1971, 1281

52. * * * *Normativ de încercări și măsurări la echipamente și instalații electrice.* PE116/73, București, Centrul de documentare energetică, 1973.

53 Bousquet, H. *Recherche d'une méthod d'éssais sous glace de l'appareillage haute tension.* Bul. Direction Etudes et Recherches EdF", B, 3—4, p. 5—20, (1972).

54. Lippoldt, R. *Der internationelle Stand der Strommesstechnik in Stromnulldurchgangsbereich.* „Wiss. techn. Mitt IPH", *11*, p. 36—41, (1970).

55. Kreuger, F. H. *Discharge Detection in High Voltage Equipment.* London, Temple Presa BooksLTD, 1964.

56. Werner, Widman, *Einfluss der elektrischen Kenngrössen von Hochspannungs — Prüfkreisen auf die Durchschlagspannung verschiedener Prüflinge in Luft.* „ETZ — A", 86, *14*, p. 458—463, (1965).

57. Feser, K. *Influence of the source impedance on the breakdown behaviour of air sparkgaps.* Prospect Haefely, „ETZ — A", 92, *8*, p. 495—500, (1971).

58. Máthé, B., Costina D., Marinescu A. *Încercarea transformatoarelor* vol. I. *Încercarea izolației.* București, Editura tehnică, 1966.

59. Boeck, Kind D., Schneider, K-H. *Hochspannungsprüfungen von SF_6. Anlagen vom Ort.* „ETZ-A". 94, *7*, p.406—412, (1973).

60. Feser, K. *Ein neuer Spannungsteiler für die Messung hoher Stoss- und Wechselspannungen.* „Bul. SEV", 62, *19*, p. 929—935, (1971).

61. Máthé, B. *Defectoscopia izolației transformatoarelor prin metoda oscilografierii impulsului de tensiune*, București, IDT, 1965.

62. Máthé, B., Cîrstea, D. *Modificarea spectrului cîmpului magnetic de disperie la apariția unui defect între spirele înfășurării transformatorului.* „Comunicările tehnice Electroputere", p. 52—53, (1963).

63. Máthé, B. *Sisteme moderne de defectoscopie nedistructivă a izolației electrice.* București, IDT, 1968.

64. Máthé, B., Máthé, S. — *Calculul și experimentarea dispozitivelor de acționare ale întreruptoarelor de înaltă tensiune* „Electrotehnica", 8, *9*, p. 307—317, (1960).

65. Máthé, B., Máthé, S. *Calculul construcția și experimentarea dispozitivelor de acționare pneumatică a întreruptoarelor.* „Electrotehnica", 9, *2*, 58—64, (1961).

66. Michacea, R., Bourvill-Parege, C. *Essais destiné á ameliorer la fiabilité des disjonctéurs à haute tension.* „RGE", 80, 4, p. 276—281, (1971).

67. Máthé, B., Pănoiu, A. Ogrezeanu, S. *Metode și dispozitive pentru ridicarea caracteristicilor mecanice ale întreruptoarelor de înaltă tensiune.* București, IDT, 1963.

68. M á t h é, B., O g r e z e a n u, S., P ă n o i u, A. *Ridicarea caracteristicilor mecanice pe cale electrică la întreruptoarele de înaltă tensiune.* „Electrotehnica“, 10. *10*, p. 375—383, (1962).

69. M á t h é, B., O g r e z e a n u, S., P ă n o i u, A. *Untersuchung der Messmethoden für die Antriebsparameter von Hochspannungsschaltern.* „Elektrie, 19, *6*, p. 241—243, (1965).

70. K a b e l i k, J., K o h o u t, J., S m e i l e r, A. *Les procedés methodiques de la commande et des mesures electriques pendant les essais en court-circuit.* „L'industrie lourde Tchecoslovaque“, *5*, p. 24—29, (1957).

71. K a r s a, B. *Árammérés az OCER tipusu oszcillografokon.* Budapest, VEIKI, 1964.

72. B o l o t i n, I. B. E i d e l, L. Z. *Izmerenia v rejimah korotkovo zamîkania.* Editura Enrghia, 1973.

73. C î r s t e a, D., M á t h é, B., P ă n o i u, A. *Cercetări asupra erorilor de înregistrare a curenților tari folosind transformatorul de măsură.* Metrologia aplicată, 11, *7*, p. 289—297 (1964).

74. K u h n h a r d t, G. *Die Messung der unbeeinflussten Einschwingspannung im Hochspannunsschaltgeräte.* „Wiss. techn. Mitt, Inst. Prüffeld electrischen Hochleistungstechink“ *12*, p. 11—20, (1971).

75. M i h ă i l e a n u, C., M á t h é, B., B a d e a, N. *Setevoi stend bolșoi moşcinosti dlia ispîtania vîsokovoltnîh apparatov i transformatorov.*, „Bul. IPI“. Sec. 3—18, *1—2*, p. 161—167, (1972).

76. C î r s t e a, D., M á t h é, B., O g r e z e a n u, S., P ă n o i u A. T u d o r a c h e, C. *Studii privind capacitatea de comutație a întreruptorului IUP—110 în condiții de laborator și de rețea.* I. *Încercări de laborator.* „Electrotehnica, 12, *4*, p.132—141, (1964).

77. C î r s t e a, D., M á t h é, B., O g r e z e a n u, S., P ă n o i u, A., T u d o r a c h e, C. *Studii privind capacitatea de comutație a întreruptorului IUP-110 kV în condiții de laborator și de rețea (II) Încercări de rețea.* „Electrotehnica“, 12, *5*, p. 172—182, (1964).

78. S l a m e c k a, E. *Prüfung von Hochspannungsleistungsschaltern* Berlin-Heidelberg, New-York, Springer Verlag, 1966.

79. K a p l a n V. V. N a ş a t î r, V.M. *Kolebatelnîi kontur dlia ispîtania aparatov vîsokovo napriajenia.* Moscva/Leningrad, Gosenergoizdat, 1960.

80. K a p l a n, V .V., N a ş t î r, V. N. *Komutationîe ispîtania vîscovoltnîh aparatov.* Leningrad, Energhia, 1969.

81. P a n e k, J., N o v o t n y, V. *Errichtung eines Laboratoriums für indirekte Prüfungen von Hochstspannungsschaltern.* „Die Schewrindustrie der Tschechoslowakei” p. 4—13, (1964).

82. L a t e r, J.M. *Syntetische Schaltungen mit Betriebsfrequenter Hochspannungesquelle zur Prüfung von Leistungs-Schaltern*, „Wissenschaftlich technische Mitteilungen IPH-Berlin“, p. 7—16, (1964).

83. * * * *Raport sur les éssais synthétiques des disjoncteurs a courant alternatif à haute tension.* „Publication CEI nr. *427*/1973.

84. P o s t n i k o v, I . *Polucenie maksimalnîh velicin elecktrokineticeskoi energhii.* „Trudî LPI“, *2*/1937.

85. T i t t e l, J. *Die Ausgleichvorgänge in Stossleistungsgeneratoren bei der Prüfung der Hochspannungsleistungsschalter.* „Elektrotechnik und Maschinenbau“, H. *5*, p. 277—290, (1966).

86. S t a n c i u, V. *Der Sincrongenerator als Prüfquelle in Hochleistungsversuche und Prüffeld.* „Lucrările ICPE“, *22*, p. 57—70, (1969).

87. P i t i c i k i n, P. N., G u t m a n, I. M. *Ventilnîe razriadniki.* Moscva-Leningrad, p. 147, (1963).

88. H e i ņ e m a n n, T h o m a s *Überspannungsableiter. Entwicklungsstand und Prüfmethoden.* „Elektrotechnik-und Maschinenbau“. 89, *4*, 143—149, (1972).

89. B o g a t e n k o, I. M. ş. a. *Zum Problem der Ventilableiteiterprüfungen unter Bedingungen, die den bei Schaltüberspannungen in Energiesystemen herrschenden Bedingungen equivalent sind* „Wiss. techn. Mitt. Prüffeld für elektrisch. Hochleistungs. techn., *11*, p. 5—15, (1970).

90. B e n e s c r i p t o v, V. E., T a b a r d a n o v a, M. P., S i s m a n, D. V. *Ispîtanie novîh mnogoventilnîh razriadnikov RVT napriajeniem 110—500 kV.* „Electriceskie stanții“, p. 45—58, (1972).

91. I s k s z t, W e r n e r, W e r n e r, W o l f g a n g *Prüfungen an einem neuen Uberspannungsableiter für Mittelspannungsnetze.* „Siemens Z“ 45, *2*, p. 94—100, (1971).

92. A l b r e c h t, G e r h a r d *Druckentlastungsprüfungen an Ventilableitern* „Techn. Mitt. AEG, — Telefunken“, 62, *7*, p. 309—311, (1972).

93. B a c h m a n, A r t h u r *Ergebnisse von Überwachungsmessungen an Überspannungsableitern bei der Oberösterreichischen Kraftwerke A.G.* „Elektrotechnik- und Maschinenbau“ 89, *4*, p. 164—167, (1972).

94. L e s c h a n z, A l f r e d *Überwachungsmessungen an Überspannungsableitern.* „Elektrotechnik-und Maschinenbau“, 89, *4*, 155—159, (1972).

95. C î r s t e a D., A m b r o z i e, C., U d a n g i u, G h e., T r u ț ă, C. Încercarea transformatoarelor. II, *Încercări funcționale.* București, Editura tehnică, 1967.

96. S á n d o r, G y ö r g y n é *Zárlatkorlátozó fojtótekercsek lököfeszültség vizsgálatánál alkalmazható hibakimutató módszerek.* „Elektrotechinka“, 65, *6*, 232—236, (1972).

97. H u b e r, F. *Zwek, Bauarten und Prüfung Von Hochspannungs kompensationsdrosselspulen.* „Ind. Rundschau“, *12*, p. 47, 1970.

98. L i z u n o v, S.D., S m i r n o v, I. F., I a z î k o v, V . I . *Ispîtaniamosciniîh şuntiruiuuschih reactorov vissih klassov napriajenia.* „Elektrotehnica“, *3*, p. 39—43, (1973).

99. L u s p a y, D., C s i z y, T., T ö r ö k, B. *Mérötranszformátorok* Budapest, Müszaki Könyvkiadó, 1971.

100. K o p e c e k, J., D v o r a k., M. *Transformatoare de măsură.* Bucureşti, Editura tehnică, 1970.

101. D r o z d o v, A. D., P o d g o r n î i, V. V. *Experimentalnoe opredelenie parametrov schemî zamescenia transformatorov toka.* „Izv. VUZ Elektromehanika“ *4*, p. 454—456, (1971).

102. B i s s e, V. P. *Novîi sposob vîiavlenia korotkozamknutîh vitkov vo vtoricinîh obmotkah transformatorov toka.* „Elektriceskie stanții“, *6* p. 78—79, (1973).

103. M á t h é , B. *Încercarea izolației transformatoarelor de putere și de măsură la tensiune sinusoidală.* București, IDT, 1965.

104. M á t h é, B. *O metodă de defectoscopie a izolației transformatoarelor.* „Comunicări tehnice Electroputere“, p. 22—27, (1963).

105. M á t h é, B. *Studiul sensibilității schemelor defectoscopice ale izolației transformatoarelor supuse la acțiunea tensiunii înalte de impuls.* „Comunicări tehnice Electroputere“, *4*, p. 14—22, (1967).

106. M á t h é, B. *Issledovanie ciuvstvitelnosti metodov defectoscopii izolații primeniaemîh pri promîşlennîh ispîtaniah transformatorov impulsnîm napriajeniem.* Disertație, Moskva, 1966.

107. G e r t s c h, G A., A n t o l i c, K. G y g a x, F. *Kapazitive Spannungswandler und Netzschutzrelais.* „Micafil Nachrichten- MNC“ 35/5d, p. 11.

108. L i u b c i k, M. A. *Electromagneţi de c.c. și c.a.* (traducere din limba rusă), București, Editura tehnică, 1963.

109. E n g h e r (F e l d m a n) E., T o m o i a g ă, E. *Cu privire la parametri de proiectare a electromagneților de acționare a contactoarelor de c.a.* „Electrotehnica“ *7*, p. 259—265, (1964).

110. T o m o i a g ă R., C o s m i n, G h., F e l d m a n, E. *Calculul încălzirii bobinelor electromagneților de c.a.* „Electrotehnica“, 13, *1*, p. 13—22, (1965).

111. F r a n k e n, H. *Schütze und Schützersteuerungen.* Berlin, Springer, 1969.

112. E n g h e r (F e l d m a n), E., D a r i e (C i o c o i u), R. *Contactoare cu rezistență mărită la uzură.* „Electrotehnica“, 13, *8*, p. 273—280, (1961).

113. B a r b u, I. *Considerations sur l'essai de la dureé de vie des demareurs.* „Comunicare CEI 17 B (Tokio) România, 6 octombrie 1965.

114. B r o n, O. B. *Elektriceskaia duga v aparath uprovlenia*, Moscva, Leningrad, Gosenergoizdat. 1961.

115. F e l d m a n, E., T o m o i a g ă, R., C i o c o i u, R. *Încercarea la uzură electrică a contactoarelor de curent alternativ, pentru acționarea motoarelor.* „Standardizarea", 19, *2*, p. 73—78, (1967).

116. A n t o n i u, S. I o n *Chestiuni speciale de electrotehnică.* București, Editura Academiei RSR, 1956.

117. K u z n e ț o v, R. S. *Aparata respredelitelnîh ustroistv nizkovo napriajenia.*

118. H o r t o p a n, G h., C o s m i n, G h., H u h u l e s c u, M., P a n a i t e, V., S i m u l e s c u, D. și T o m o i o a g ă, R. *Aparate electrice de joasă tensiune.* București, Editura tehnică, 1969.

Lei 37

EDITURA TEHNICĂ